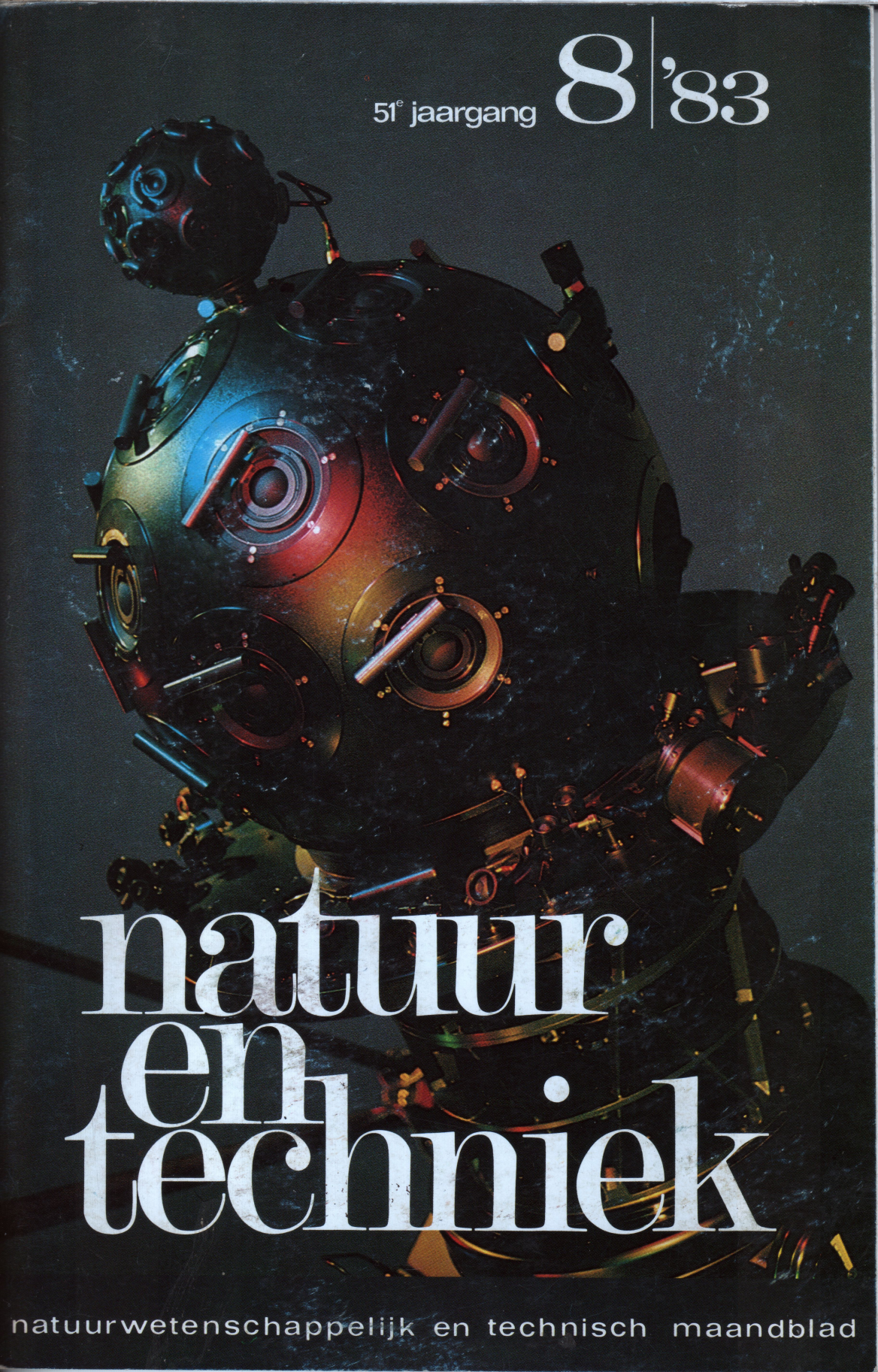
51e jaargang 8 | '83



natuur en techniek

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

Bij de omslag

Met behulp van een aantal sterke lampen en een lenzensysteem in deze bol kan men o.a. sterren, sterrenbeelden op de binnenwand van een koepel projecteren. Dit zgn. projectieplanetarium staat opgesteld in het Planetarium te Amsterdam. Feitelijk moeten de sluitesr van de projectietoestellen horizontaal staan. De projector zelf bestaat uit vele lampen, lenzen, prisma's, sluiters en tandwielen die alle op een ingenieuze manier samengrijpen om het publiek te laten genieten van 'sterren kijken overdag'. Zie verder het artikel op pag. 566 e.v.
(Foto: Zeiss-Planetarium, Amsterdam).

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht. Redactie en Administratie zijn te bereiken op:
Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Telefoon: 043-54044*.
Voor België: Tervurenlaan 62, 1040-Brussel. Telefoon: 0031-4354044.
Advertentie-exploitatie: D. Weijer. Tel. 05987-23065.

Hoofdredacteur: Th. J. M. Martens.
Redactie: lic. P. Van Dooren, Drs. L. A. de Kok, Drs. T. J. Kortbeek, Drs. H. R. Roelfsema, J. A. B. Verduijn.
Redactiesecretaresse: T. Habets-Olde Juninck.
Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs. Chr. Titulaer en Dr. J. Willems.
Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P. Bentvelzen, Drs. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Drs. L.A.M. v.d. Heijden, Dr. F.P. Israel, Prof. dr. H. Janssens, Drs. J.A. Jasperse, Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M. Post, R. J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Dr. M. Sluyser.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.
De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-v.d. Heuvel, M. Verreijt.
Druk.: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223*.

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), UMSCHAU (D), SCIENZA E TECHNICA (I) en TECHNOLOGY IRELAND (EI), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschap.

EURO ARTIKEL

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): Voor Nederland, resp. België: *f* 95,– of 1825 F. Overige landen: + *f* 35,– extra porto (zeepost) of + *f* 45,— tot *f* 120,— (luchtpost). Losse nummers: *f* 7,70 of 150 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDS kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen: Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.
Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.
Bankrelaties: Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.
Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

notu/vak

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

ISSN 0028-1093

Een uitgave van

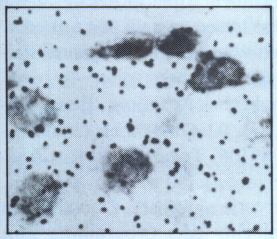
Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

8

natuur en techniek

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

pag. 546-565 SISO 599.7, 614.73



Jean P. Rossier - George Chapouthier - Hersenmorfines - Sleutels tot het gedrag.
Iedereen kent natuurlijk morfine, het papaver-extract dat een krachtig geneesmiddel is tegen pijn. Het is ook een verdovend middel dat wegens de verslaving die het bij de gebruiker veroorzaakt, geducht wordt. Het onderzoek naar de werkingswijze van deze stof heeft geleid tot de ontdekking van aanverwante stoffen die door de hersenen zelf gemaakt worden. Deze 'hersenmorfines' blijken verbazingwekkende eigenschappen te bezitten waar men langzamerhand enig inzicht in begint te krijgen.

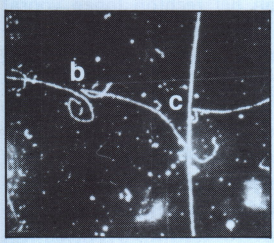
pag. 566-589 SISO 551.3

Kik Velt - Het projectieplanetarium - Sterren kijken overdag.
Midden op de dag naar de sterrenhemel kijken, begrijpen hoe de sterren ronddraaien aan de hemel, zonsopgang en zonsondergang, zons- en maansverduisteringen meemaken, een reis tussen de planeten door maken, landen op Venus of Mars, dit alles en nog veel meer is mee te maken in een projectieplanetarium, zoals sinds vorig jaar Amsterdam er een heeft. Brussel heeft eenzelfde sinds 1958, het jaar van de Wereldtentoonstelling. De toegenomen belangstelling voor planetaria in het algemeen is aanleiding geweest om eens nader dit fenomeen te bekijken en de werking ervan uit de doeken te doen.

pag. 590-605 SISO 594, 595

O.M.J. Adang - Sociaal leergedrag bij chimpansees - De lange weg tot volwassenheid.
Net als andere mensapen - en mensen - maken chimpanseekinderen een lange ontwikkelingsfase door voordat ze volwassen zijn. Een lange ontwikkeling lijkt belangrijk voor het opdoen van ervaringen en het verwerven van allerlei vaardigheden, vooral in sociaal opzicht. Volwassen chimpansees vertonen complex sociaal gedrag en hanteren bepaalde strategieën om hun doel te bereiken. In Burgers' Dierenpark in Arnhem bevindt zich al jarenlang een grote chimpanseekolonie, waar al lange tijd de ontwikkeling van de kinderen bestudeerd wordt.

pag. 606-625 SISO 538, 531



Nicola Cabibbo - De grote unificatie - Alle natuurkrachten onder één noemer?
Het hele bouwwerk van de natuurkunde is gebouwd op een fundament van vier 'fundamentele' krachten: de zwaartekracht, de elektromagnetische kracht (die de hele chemie regelt), de sterke kracht (die de atoomkernen bij elkaar houdt) en de zwakke kracht (die voor de radioactiviteit zorgt). Men vermoedt dat deze krachten uitingen zijn van één Oerkracht, de grondformule voor het hele heelal. Hoge-energiefysica en astronomie ontmoeten elkaar hier op een van de meest fascinerende fronten van de moderne wetenschap.

pag. II Bezienswaardig.
pag. 626-635 Actueel.
pag. 636 Tekst van toen.

Planetarium Brussel

In dit nummer zullen we aandacht besteden aan het nieuwe planetarium te Amsterdam, maar Brussel heeft er natuurlijk ook één. Hieronder een overzicht. Het programma 'Op weg naar de sterren' bestaat uit twee delen en is geschikt voor de leerlingen uit het basis- en secundair onderwijs. Het eerste deel biedt een overzicht van de sterrenkunde, vanaf de oudheid tot de landing op de maan. Van dat ogenblik af werd de mens in staat gesteld de aarde als observatiepost te verlaten en waarnemingen en proeven in de ruimte zelf te verrichten. In het tweede deel worden enkele astronomische begrippen verduidelijkt, zoals meridiaan, ecliptica, hemelequator.
Op een willekeurig moment van de dag kunnen de bezoekers genieten zowel van zonsopgang als -ondergang, alsook van een versnelde dag- en nachtbeweging. Zonder hun plaats te verlaten, kunnen ze zich verplaatsen naar de evenaar om daar kennis te maken met vallende sterren en enkele markante sterrenbeelden. Dia's brengen tot slot meer informatie over het lanceren van een kunstmaan en de beweging van de planeten rond de zon.
In het programma 'Schijn en werkelijkheid' wordt achtereenvolgens de aarde gesitueerd in het zonnestelsel, het zonnestelsel in het melkwegstelsel en tenslotte het melkwegstelsel in het heelal, waardoor meteen een idee wordt opgeroepen van de oneindigheid die de aarde omgeeft. Vervolgens worden de begrippen ecliptica, hemelequator en zomer-, herfst-, winter- en lentepunt gedefinieerd. Tenslotte wordt een definitie gegeven van het begrip lichtjaar en worden ook de melkweg, het melkwegstelsel en andere galactische stelsels verklaard.
Op dit ogenblik is het programma 'De zon, onze ster' in voorbereiding. Dit geeft een overzicht van onze kennis over de zon, die immers een doodgewone ster is.
Het Planetarium organiseert tevens lesvoorstellingen die speciaal ontworpen zijn voor het secundair onderwijs. Een eerste programma 'Kosmografie' is bedoeld voor leerlingen uit het zesde leerjaar van de opties/afdelingen wetenschappen en wiskunde. Dit programma behandelt de volgende onderwerpen: horizoncoördinaten, equator en meridiaan, tijdsbepaling, dagelijkse en jaarlijkse beweging, de hemel op verschillende geografische breedte. Het tweede programma 'Op verkenning langs de hemel' is geschikt voor alle klassen van het hoger secundair onderwijs en behandelt de volgende onderwerpen: de zon, de maan en de sterren, de hemel in de herfst en de helderheid van de sterren, de hemel in de winter en levensloop van de sterren, de hemel in de lente en de zomer, extragalactische stelsels.
Deze lesvoorstellingen vinden plaats op dinsdag, van 9.30 u tot 12 u en beginnen stipt op het vermelde uur. Er zijn telkens twee lessen van elk één uur en er worden onderbrekingen voorzien om vragen te stellen. Plaatsbespreking is verplicht.
Het Planetarium ligt nabij het Atomium, Boechoutlaan 10, 1020 Brussel, tel. 02-4789003 en (enkel tijdens de diensturen) 4789106. Toegang: 60 fr.; groepen (minimum 20 personen): 30 fr. per persoon. (Voor groepen is reservatie gewenst). Omwille van de precieze techniek, begint ieder programma stipt op het vermelde uur.

Voetspoor van de mens

Waar komt de mens vandaan? Wie antwoord op deze vraag wil hebben kan de tentoonstelling 'In het voetspoor van de mens' in het Utrechtse Universiteitsmuseum gaan zien. Op een overzichtelijke wijze wordt op deze tentoonstelling vertelt over het onderzoek op dit terrein in verschillende delen van de wereld. Met behulp van allerlei schedels wordt duidelijk gemaakt waar de verschillen tussen apen en mensachtigen liggen en worden verschillende vormen van menselijk en mensachtig leven ten tonele gevoerd. Men kan ook zien hoe de verschillende onderzoekers zich de gang van de evolutie tot de huidige mens voorstellen. Op verschillende onderdelen denken zij dat deze enigszins anders is. Opmerkelijk is dat men altijd dacht dat de verhoudingsgewijze grote herseninhoud aan het rechtop lopen vooraf moet zijn gegaan, maar dat is niet juist. Dat is bewezen door de vondst van de schedel van het zesjarig kind uit Taung in Zuid-Afrika, die in 1925 werd gevonden. Het is kenmerkend voor echte wetenschap dat deze steeds tot nieuwe inzichten leidt. Hypothese, veronderstellingen, en modellen worden bedacht en getoetst aan de feitelijke gegevens en zo nodig gecorrigeerd, om weer tot nieuwe verklaringen te leiden. De tentoonstelling is te bezichtigen tot eind september.
Het Universiteitsmuseum is gevestigd aan de Biltstraat 166 te Utrecht. Het museum is geopend van maandag t/m vrijdag 10.00-17.00 uur. Tel.: 030-332114.

DE AUTEURS

Dr. Jean Pierre Rossier ('Hersenmorfines') werd op 18 juni 1944 te Ukkel geboren. Hij behaalde zijn doctorstitel in 1969 aan de universiteit van Brussel en nog een tweede aan de universiteit van Parijs in 1975. Tijdens zijn loopbaan was hij werkzaam op diverse instituten in Frankrijk en de Verenigde Staten (o.a. bij Guillemin). Sinds 1980 is hij onderzoeksleider van INSERM, Laboratoire de Physiologie Nerveuse (CNRS), te Gif-sur-Yvette.

Dr. Georges Chapouthier ('Hersenmorfines') werd op 27 maart 1945 te Libourne in de Gironde geboren. Hij promoveerde in 1973 aan de universiteit van Straatsburg. Hij was daar en in Parijs werkzaam en bezocht ook het instituut van Ungar in 1969-1971. Vanaf 1973 is hij verbonden aan het Laboratoire de Physiologie Nerveuse, Dept. de Physiologie, te Gif-sur-Yvette.

Drs. C.F. Velt ('Het projectieplanetarium') werd op 15 januari 1957 te Bussum geboren. Hij studeerde van 1975 tot 1980 sterrenkunde aan de universiteit van Leiden. In 1981 en 1982 was hij werkzaam als systeemanalist/programmeur en sinds vorig jaar is hij medewerker van het planetarium Amsterdam.

Drs. O.M.J. Adang ('Sociaal leergedrag bij chimpansees'), geboren in 1956 in Geldrop, studeerde van 1974 tot 1981 biologie/ethologie aan de universiteit van Utrecht. Vanaf 1981 is hij daar wetenschappelijk assistent bij het Laboratorium voor Vergelijkende Fysiologie en als zodanig werkzaam in Burgers' Dierenpark te Arnhem.

Prof.dr. Nicola Cabibbo ('De grote unificatie') is een theoretisch fysicus die op diverse terreinen van de deeltjesfysica werkzaam is (geweest). Zo werkte hij o.a. op de laboratoria te Frascati, CERN te Genève en het laboratorium te Berkeley. Sinds 1966 is hij hoogleraar in de theoretische fysica aan de universiteit van Rome. Hij is vooral bekend voor zijn theorieën over zwakke wisselwerkingen. Dit heeft een snelle vordering van het onderzoek over de unificatie mogelijk gemaakt.

COLUMN

Vrijheid

Het vele en onzeglijke leed dat de afgelopen jaren over ons is gekomen in zulke stromen dat we langzamerhand alleen nog maar deemoedig het hoofd kunnen buigen bij de volgende emmer ellende die ons uit het Haagse gewordt, dat leed dus, heeft er een nieuwe dimensie bijgekregen. Aan de hand van Amerikaanse (!) voorbeelden toont een Britse (!) auteur in een publikatie van de Nederlandse Dienst Wetenschapsvoorlichting aan, dat de vrijheid van wetenschapsbeoefening wordt bedreigd.

Mocht U dit nog niet weten, dan heeft uw lijfjournalist waarschijnlijk een verkeerde functionaris van genoemde (pardon, opgemelde) dienst aan de telefoon gehad, want het is daar zo geregeld dat er niet achteloos met overheidsgeld wordt gesmeten en alleen de hoogste baas is gerechtigd (comptabel zal dat wel heten) om een stencil van een kwartje te versturen, niet evenwel dan nadat hij zich er (in een telefoongesprek van f 4,50 waaraan zowat een tientje loonkosten verbonden is) terdege van heeft vergewist dat het stencil niet alleen door een daartoe gerechtigde wordt verzonden, maar tevens door een daartoe gerechtigde zal worden ontvangen (kosten van het stencil inmiddels f 14,75 dus dit wordt een duur stukje, mogelijk uw laatste kans iets duurs van de Nederlandse overheid te krijgen).

Cynici denken nu mischien, dat het als gevolg van dit soort structuren nog niet tot de Dienst was doorgedrongen dat er ook in Nederland iets met de wetenschap aan de hand schijnt te zijn, en dat een rustige wandeling langs de zonnige Nieuwezijds Voorburgwal tot aan het Maagdenhuis wellicht voor een medewerker van de Dienst (mits daartoe gerechtigd) het een en ander had kunnen verhelderen over de interne toestand van het Lieve Vaderland.

Enige historische kennis zou dergelijk cynisme ontkrachten. Er is, zoals iedereen weet, in ons land een eeuwenoude traditie van vrijheid. Niet alleen van wetenschapsbeoefening en wetenschappelijke publikatie, maar van drukpers in het algemeen. Een voorwaarde is

wel, dat het over het buitenland gaat. De oude Nederlandse courantiers mochten uitvoerig buitenlands nieuws brengen en enkele officiële publikaties van de Nederlandse overheid. Kennelijk is dat nog zo.

Maar ik moet niet zeuren, want het waren twee stencils, en de prijs is dus niet vernegenenvijftigvoudigd maar slechts verdertigvoudigd en bovendien gingen ze niet over anderhalf tientje maar over miljarden. De miljarden die steeds minder door de diverse ministers van O&W worden uitgereikt en die de universiteiten – daartoe aangemoedigd door dezelfde ministers – van elders proberen te krijgen.

m Nu zijn juist deze ministers van nature

Nu zijn juist deze ministers van nature buitengewoon vriendelijk. Ze geven het geld met de mededeling dat het aardig zou zijn als er wat onderzoek mee zou worden gedaan, soms zeggen ze ook nog welk onderzoek, maar verder moet je het zelf maar weten. En dat zelf weten komt erop neer dat elke onderzoeker zo gauw als hij kan de uitkomsten van zijn werk aan de grootst mogelijke klok zal gaan hangen.

Niet iedereen is zo aardig. Er zijn bijv. bedrijven die zeggen: 'Luister eens, ik wil dat onderzoek wel betalen, maar ik loop liever niet de kans dat de concurrentie met de uitkomsten goede sier maakt. Geef ze maar mooi aan mij alleen.' En de militairen zijn zo mogelijk nog erger. Het gevolg is dan dat de wetenschappelijke tijdschriften steeds maar dunner worden en dat, zo vreest men, de ontwikkeling van de wetenschap wordt afgeremd.

Hoewel ik om een hele reeks van redenen voor publikatie van onderzoeksresultaten ben, en ook al daarom de ontwikkeling niet mooi vind, geloof ik niet zo erg dat dit de manier is waarop de voortgang van de wetenschap wordt geremd. Zeker in de frontlinie spelen de officiële publikaties hooguit een documentatierol. Je kunt het later nog eens nazien en er bestaat een kans op literatuurverwijzingen die weer goed zijn voor het aanzien van de auteur. Maar op elk vakgebied dat ik ken worden bevindingen informeel meegedeeld en besproken, en wordt er op basis van uitkomsten verder gewerkt, lang voordat het desbetreffende artikel is geschreven. Voor de theorie (en dus voor de voortgang van de wetenschap) belangrijke bevindingen worden gebruikt – als het onderzoek geheim was dan maar zonder verwijzing.

Er is een veel groter gevaar in de geschetste ontwikkeling, een gevaar waarvan men zich bijv. in het Maagdenhuis op de hoogte had kunnen stellen. Als een vakgroep in aanmerking wil komen voor externe financiering dan moet die iets te bieden hebben. Het eigen programma dat van het geld van de vriendelijke minister kan worden uitgevoerd moet al gericht worden op de belangen van mogelijke geldschieters. Dat betekent voor veel instituten dat ze op basis van vroeger fundamenteel onderzoek niet moeten gaan zoeken naar verdere verschuivingen van de grens, naar nieuwe theoretische mogelijkheden, maar dat ze gaan zoeken naar aansluitingen van bestaande theorie op de markt. En dat is dan wel echt de dood in de pot.

En daar komt ook nog minder van terecht vanwege de energie en de creativiteit die gaat zitten in het binnensleepen van opdrachten. We waren al zover dat de meeste hoogleraren feitelijk de functie van hoofdadministrateur hadden. Die ziekte breidt zich nu uit over de hele staf. Voor onderzoek is er nog tijd 's morgens van zeven tot negen en de literatuur houdt men bij na middernacht. In dat opzicht zou men een vermindering van publikaties bijna gaan toejuichen.

A. de Kool

vakantie

Hoewel tegen de tijd dat dit nummer in de brievenbus komt voor velen de vakantie alweer verleden tijd zal zijn, zouden we van een typisch vakantienummer kunnen spreken. Niet alleen liggen twee van de onderwerpen tegen de vrijetijdssfeer aan (de beschrijving van een planetarium en een artikel over een onderzoek in een dierentuin), maar bovendien zijn alle artikelen in dit nummer van een zodanige bijna journalistieke actualiteit, dat men enige tijd zal willen uittrekken om alles te lezen, een mooie vakantiebezigheid.

Er blijkt bijv. uit het artikel van Nicola Cabibbo dat er aanzienlijke vorderingen worden gemaakt bij het oplossen van een van de grootste en meest fascinerende raadsels in de wetenschap: de samenhang tussen de verschillende basiskrachten. De theorie heeft een aantal deeltjes voorspeld die vervolgens ook zijn gevonden en dat betekent een aanzienlijke steun voor de bruikbaarheid ervan. Een praktische moeilijkheid is wel dat er ook deeltjes zouden moeten zijn die zoveel massa/energie hebben, dat ze onder aardse omstandigheden nooit te scheppen zijn. Men hoopt ze in kosmische straling te vinden, maar de kans daarop is niet groot. Een meer theoretisch probleem is dat er volgens de theorie een 'woestijn' zou bestaan, een heel groot gebied tussen de deeltjes die met de huidige technieken in beginsel op te sporen zouden zijn en de genoemde zeer zware deeltjes. Het is niet duidelijk waarom er zo'n leeg gebied, zo'n 'vakantie-oord voor hoge energiefysica' zou zijn.

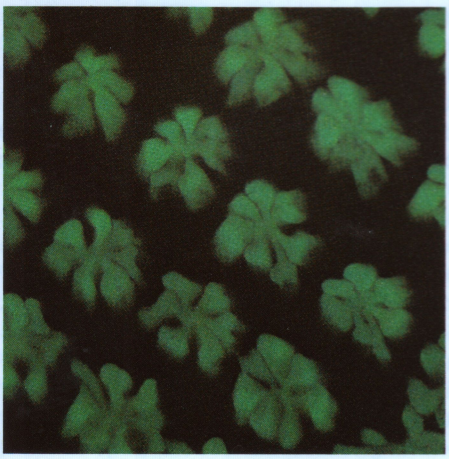
Vaak vergroot nieuwe kennis de raadsels alleen maar. Dat is tot op zekere hoogte het geval met de 'hersenmorfines', beschreven in het artikel van Jean P. Rossier. Het blijkt dat het lichaam zelf stoffen produceert die in werking sterk lijken op morfine en die dan ook, hoewel het peptiden zijn en niet, als morfine, alkaloïden, op enkele punten een met morfine overeenkomende ruimtelijke structuur hebben. Dat verklaart misschien waarom morfine in het lichaam werkzaam kan zijn, maar het maakt het verschijnsel verslaving, dat sterk met morfine is verbonden, alleen maar raadselachtiger. Hoe kan een stof die qua werking overeen komt met in het lichaam zelf voortgebrachte stoffen verslavend zijn? De neurofysiologie is duidelijk nog niet 'af'.

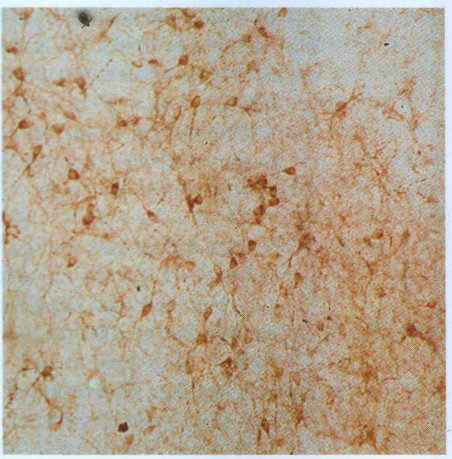
De studie van diergedrag ook niet en ook daar valt er nog veel fundamenteels te leren. Het geloof in de genetische of natuurlijke bepaaldheid van gedrag zou wel eens een flinke knauw kunnen krijgen door onderzoek zoals het beschreven is in het artikel van O.M.J. Adang. Daarin blijkt dat veel van het gedrag in een chimpanseekolonie helemaal niet is 'aangeboren', maar dat het moet worden geleerd. De discussie over biologisch determinisme kan dank zij zulk onderzoek een nieuwe wending krijgen.

Jean P. Rossier
Laboratoire de Physiologie Nerveuse, CNRS
Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
Gif-sur-Yvette

George Chapouthier
Département de Psychophysiologie
Laboratoire de Physiologie Nerveuse, CNRS
Gif-sur-Yvette

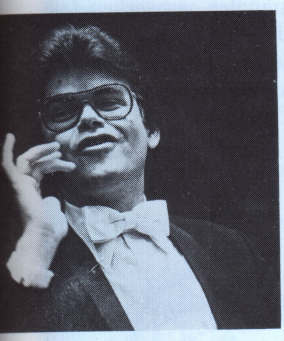
HERSEN

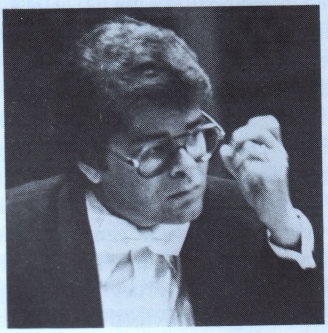




EURO ARTIKEL

Sommige hersenmorfines hebben invloed op de emotionele reacties van de mens (rechtsboven). Op de foto linksboven is het voorkomen getoond van de hersenmorfine enkefaline in het gezichtsorgaan van een kreeft. Hierbij is het enkefaline gekoppeld via een antilichaam aan nóg een ander waaraan een fluorescerend molecule gebonden is. Het gezichtsorgaan is opgebouwd uit zgn. ommatidia die elk een groep van zeven enkefalineimmuunreactieve fotoreceptors bevatten. Enkefalines worden onder meer in de zoogdier hypothalamus geproduceerd in cellen rondom een zenuwbundel (foto boven), en getransporteerd via zenuwvezels.





MORFINES

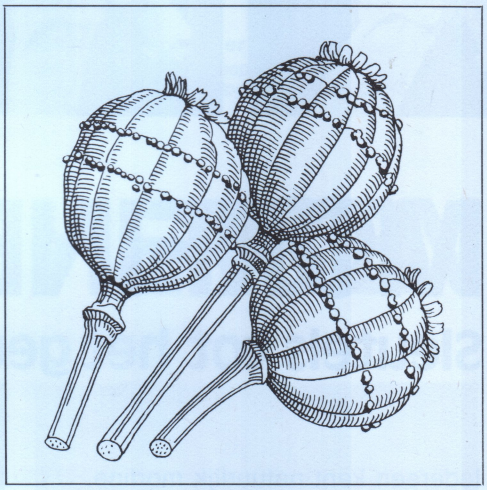
Sleutels tot het gedrag

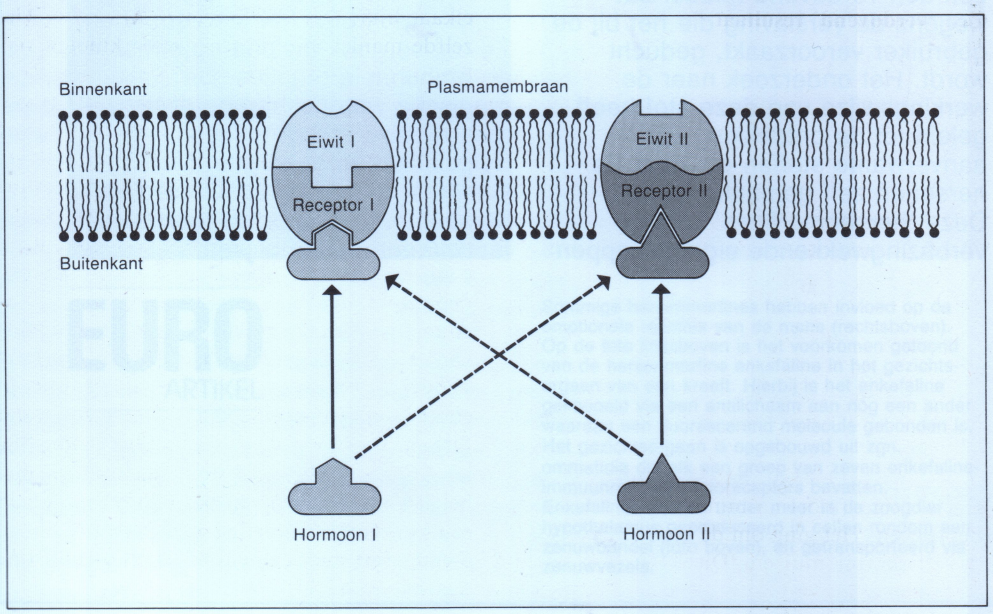
Iedereen kent natuurlijk morfine, het papaver-extract dat een krachtig geneesmiddel is tegen pijn. Het is ook een verdovend middel dat wegens de verslaving die het bij de gebruiker veroorzaakt, geducht wordt. Het onderzoek naar de werkingswijze van deze stof heeft geleid tot de ontdekking van aanverwante stoffen die door de hersenen zelf gemaakt worden. Deze 'hersenmorfines' blijken verbazingwekkende eigenschappen te bezitten waar men langzamerhand enig inzicht in begint te krijgen. Zo remmen enkefaline en endorfine pijn en beïnvloeden bijv. het leervermogen. Ze hebben ook invloed op stress en op emotionele reacties. De medische wetenschap heeft hiermee nieuwe therapeutische mogelijkheden gekregen. Men verwacht dat de perspectieven van hersenmorfines voor de toekomst fascinerend zullen blijven.

Opium is de latex uit de zaadbollen van de papaver (*Papaver somniferum*). In 1803 werd uit opium een zeer actief bestanddeel gewonnen: morfine, dat tot de chemische familie der alkaloïden behoort (zie fig. 2). Het bezit spectaculaire farmacologische eigenschappen: het geeft een gevoel van welbehagen (euforigeen); gaat diarree tegen; het vertraagt de ademhaling; maar het blijkt vooral een krachtige pijnstiller. Daarom wordt het veel gebruikt, met name in het eindstadium van kanker. De goede eigenschappen van morfine worden echter overschaduwd door een beruchte: steeds grotere verslaving van morfinegebruikers.

Omdat men zich afvroeg hoe deze plantaardige stof zo'n grote invloed kon hebben op het zenuwstelsel, startte men met laboratoriumonderzoek. Dit leidde tot de ontdekking van hersenmorfines. In de jaren zeventig vond men dat de eigenschappen van morfine verband hielden met de structuur van de molecule. Als de werking van een stof verband houdt met de structuur ervan, wordt de werking uitgeoefend door tussenkomst van *receptoren* met een complementaire structuur, waarmee de actieve stof als een sleutel in een slot (in dit geval morfine) wordt gecombineerd (zie fig. 1).

In de laboratoria van Terenius in Zweden, Snyder in Baltimore en Simon in New York werd onafhankelijk van elkaar het bestaan van de morfinereceptor bewezen. Tijdens latere onderzoeken kwam vast te staan dat er talrijke morfinereceptoren zijn in die delen van het zenuwstelsel die de pijnsignalen verwerken (zie de foto rechts, waar deze receptoren te zien zijn) maar ook in dat deel van de hersenen dat verantwoordelijk is voor de emoties (het limbisch systeem).

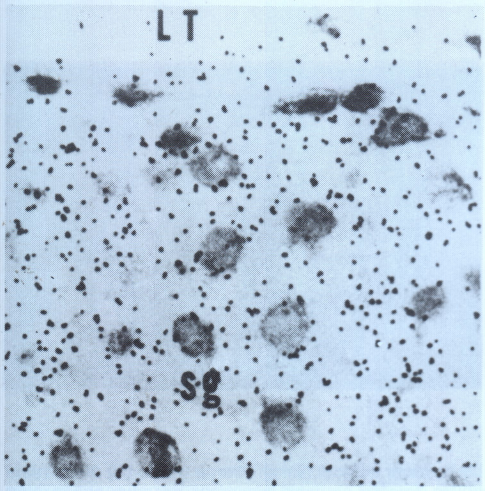




Geheel linksonder: Fig. 1. Hormonen werken via tussenkomst van een receptor. De ruimtelijke structuur (dus de vorm) van een hormoon bepaalt of deze op een receptor met overeenkomstige contra-structuur past of niet.

Linksonder: De zaadbollen van de papaver, waaruit ruwe opium gewonnen wordt.

Onder: Morfinereceptoren in het ruggemerg zijn zichtbaar gemaakt met behulp van autoradiografie waarbij het weefsel geïncubeerd is met radioactieve opiaten. Iedere punt is een morfine-receptor.



Een 'verdovend' resultaat

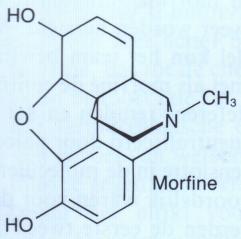
Men kwam dus tot een heel vreemde vaststelling: in het zenuwstelsel van zoogdieren bestonden gebieden die 'gevoelig' waren voor een plantaardige stof waarmee deze in de loop van de evolutie waarschijnlijk nooit in contact waren gekomen. De onderzoekers veronderstelden daarom dat die receptoren zich normaliter binden met stoffen die op morfine lijken. Deze zouden dan een soortgelijke ruimtelijke structuur bezitten en door het zenuwstelsel zelf worden geproduceerd.

Het team van Hughes en Kosterlitz in Aberdeen lukte het als eerste om dergelijke moleculen te isoleren. Kosterlitz had een zeer eenvoudig model ontwikkeld om de invloed van morfine-achtige (morfino-mimetische) stoffen te beproeven. Het ging om de contracties van de zaadleider bij muizen. Dit kanaal dat dient voor het vervoer van de spermatozoïden, ondergaat contracties die door morfine worden geremd en door een morfine-antagonist, naloxone (zie fig. 2), weer worden hersteld. Met behulp van dit model kon het team bewijzen dat hersenextracten net als morfine de contracties van de ductus deferens remden en dat dit verschijnsel werd geneutraliseerd door naloxone. Zij slaagden er tenslotte in de moleculen te isoleren die verantwoordelijk waren voor deze werking. In 1975 werden de eerste twee 'hersenmorfines' ontdekt die door het team in Aberdeen 'enkefalines' werden genoemd.

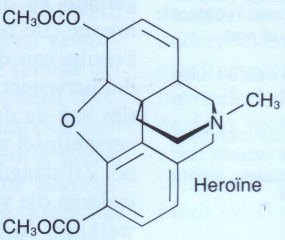
Een door H.R. Morris uitgevoerde analyse toonde aan dat het peptiden zijn, dat wil zeggen kleine proteïnen (zie het intermezzo) van 5 opeenvolgende aminozuren: tyr-gly-gly-phe-met (methionine-enkefaline ofwel met-enkefaline) en tyr-gly-gly-phe-leu (leucine-enkefaline of leu-enkefaline, zie fig. 3). Beide enkefalines zijn daarna synthetisch nagemaakt uit de samenstellende aminozuren. De zo verkregen kunstmatige produkten hebben dezelfde werking als de natuurlijke produkten; deze peptiden werken dus hetzelfde als morfine dat echter een alkaloïde is. Men kan zich alleen afvragen hoe peptiden dezelfde farmacologische werking kunnen hebben als een alkaloïde dat immers tot een heel andere chemische familie behoort (vergelijk fig. 2 en 3).

Bernard Roques te Parijs heeft kunnen aantonen dat morfine en de enkefalines een structuur hebben die ruimtelijk gezien zeer veel op elkaar lijkt, wat verklaart dat zij zich op dezelfde manier met de receptoren kunnen verbinden (zie de foto op pag. 551).

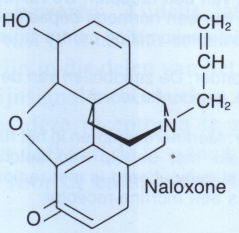
Verscheidene onderzoekteams startten toen met onderzoekingen van hersenmorfines, die ze isoleerden uit de hypofyse. Dit heeft ook geleid tot de ontdekking van nieuwe hersenmorfines. Zo isoleerde het team van Roger Guillemin (Nobelprijs 1977) van het Salk Institute te Californië uit de hypofyse van varkens een peptide van 16 aminozuren, dat hij α-endorfine noemde en later een tweede peptide van 17 aminozuren, γ-endorfine. Tenslotte vonden Li en zijn medewerkers in 1976 het β-endorfine, een peptide van 31 aminozuren dat farmacologisch gezien het sterkste endorfine is. Al deze endorfines stemmen overeen met het laatste segment van het β-lipotropine van een varken; α-endorfine met segment 61-76, β-endorfine met segment 61-91 en γ-endorfine met het segment 61-77.



Morfine



Heroïne



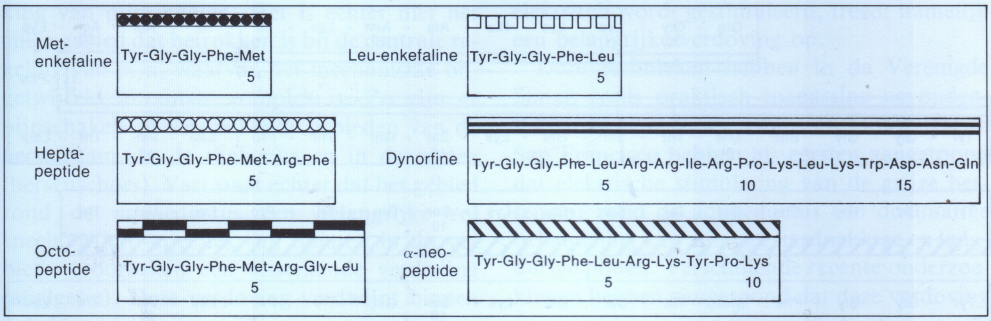
Naloxone

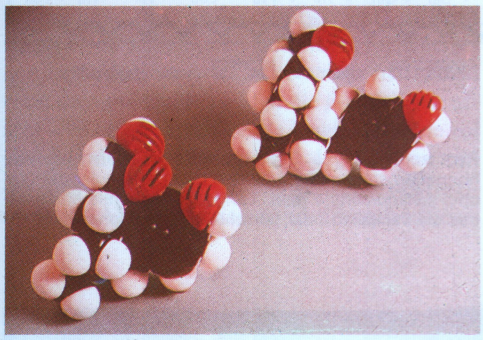
De papaver in bloei (links). Hierna worden er in de zaadbollen sneden gemaakt waardoor de ruwe opium naar buiten komt (boven).

INTERMEZZO

Eiwitten en peptiden

Een groot deel van de voor het organisme belangrijke stoffen (enzymen, hormonen, antilichamen) behoort tot de chemische familie der eiwitten (proteïnen). Deze moleculen bestaan weer uit kleinere moleculen, aminozuren genoemd, waarvan er voor alle levende wezens samen zo'n twintig zijn. Het zijn (met de afkortingen): glycine (gly), alanine (ala), valine (val), leucine (leu), isoleucine (ile), serine (ser), threonine (thr), asparaginezuur (asp), asparagine (asn),





Linksboven (fig. 2) en boven (fig. 3): Morfine, heroïne en naloxone (een tegenhanger van morfine) behoren tot de familie der alkaloïden. De endorfines en enkefalines (fig. 3) zijn echter peptiden (kleine eiwitten). Toch hebben beide groepen stoffen een soortgelijke werking in het lichaam, omdat ze die uitoefenen via hun (overeenkomde) ruimtelijke structuur (boven).

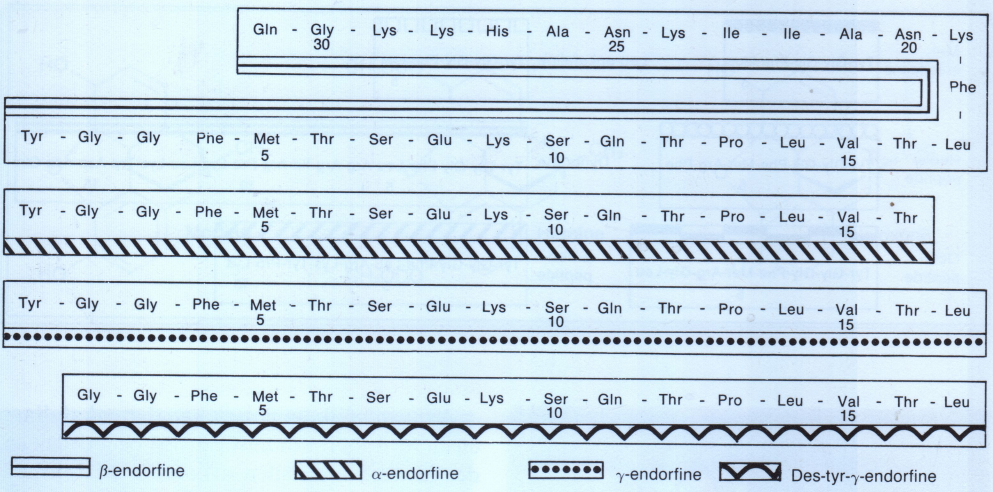
Aanvankelijk nam men aan dat enkafalines en endorfines tot dezelfde groep behoorden en dat al deze moleculen afkomstig of afgeleid waren van β-lipotropine, een molecule die gevonden was door D.H. Li in de hypofyse. De enkefalines stammen echter af van een ander 'opslag'molecule, ofschoon lipotropine dezelfde aminozuurvolgorde (sequentie) heeft als met-enkefaline.

Bovendien is hun verdeling in het zenuwstelsel verschillend, ze komen ook niet op dezelfde plaatsen voor in het lichaam. En tenslotte verschilt hun levensduur. Enkefalines hebben een zeer korte levensduur (enkele minuten), terwijl endorfines meerdere uren stabiel blijven. Het lijkt er dus op dat er twee groepen 'hersenmorfines' bestaan, elk met hun eigen kenmerk en aard. Wij zullen ze daarom afzonderlijk behandelen.

glutamine (gln), glutaminezuur (glu), arginine (arg), lysine (lys), histidine (his), fenylalanine (phe), tyrosine (tyr), tryptofaan (trp), cysteïne (cys), methionine (met), proline (pro). Wanneer aminozuren onderling verbonden worden tot een keten, vormen zij een eiwit. Voor elke categorie eiwitten is de volgorde (sequentie) van deze ketens – dat wil zeggen de volgorde van de aaneengeschakelde aminozuren – karakteristiek. Deze sequentie wordt de primaire structuur van het eiwit genoemd.

De keten van aminozuren wordt vervolgens schroefvormig gedraaid zoals een spiraalveer (secundaire structuur) en deze schroef krijgt dan nog een bijzondere vorm in de ruimte (ruimtelijke structuur of tertiaire structuur). De biochemische eigenschappen van de proteïnen houden verband met deze ruimtelijke structuur die de chemische actieve groepen op verschillende punten van de keten samen brengt. Men kan evenwel aantonen dat zowel de secundaire als de tertiaire structuur door de primaire structuur, d.w.z. door de volgorde van de aminozuren wordt bepaald. Het is dus van essentieel belang deze volgorde te kennen en daarom wordt ze in dit artikel voor diverse eiwitten vermeld.

Indien een eiwit niet langer is dan enkele tientallen aminozuren wordt het een 'peptide' genoemd. Alle tot dusver geïsoleerde hersenmorfines zijn peptiden.



Boven: Fig. 4. De endorfines hebben alle dezelfde beginsequentie. β-endorfine, de langste keten met 31 aminozuren, α-endorfine heeft er 16, γ-endorfine 17 en DTγE is γ-endorfine dat tyrosine mist.

Rechtsonder: Fig. 5. Endorfine en ook andere hypofysehormonen stammen af van een groot molecule, dat pro-opio-melano-cortine heet. Langs de sequentie staan codes die verwijzen naar verschillende hormonen.

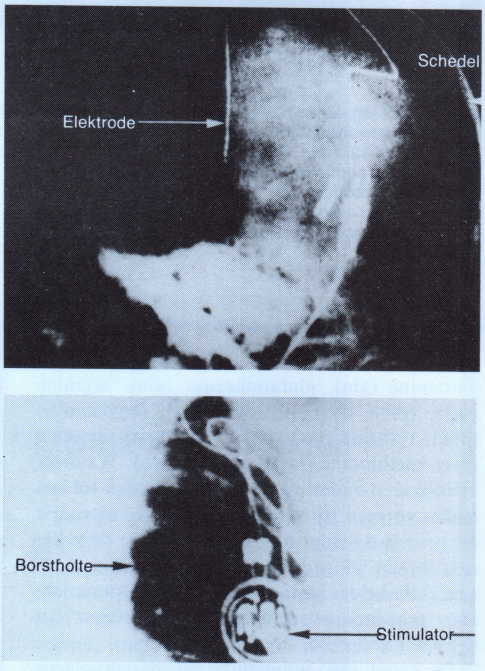
Endorfines

Endorfines zijn dus derivaten van β-lipotropine. Onlangs is bewezen dat β-lipotropine zelf ook weer een derivaat is van een nog belangrijkere molecule die pro-opio-melanocortine wordt genoemd (zie fig. 5). Deze molecule bevat zowel β-lipotropine en zijn derivaten (endorfines), het corticotroop hormoon (ACTH, een door de voorkwab van de hypofyse afgescheiden hormoon dat werkt op de bijnieren en een rol speelt bij stress-situaties) alsmede de melanotrope hormonen (α-, β- en γ-MSH, door de middenkwab van de hypofyse afgescheiden hormonen, waarvan de rol nog weinig bekend is).

Endorfines uit het cerebrum

Aan de hand van diverse immunologische technieken konden de endorfines van de meeste hersengebieden worden gelokaliseerd, met name in de grijze hersenstof rond de aquaeductus, een gebied dat een rol speelt bij de pijnregeling; en ook in het perifere stelsel, dat deel van de hersenen dat betrokken is bij de regeling van emoties.

De grijze hersenstof rond de aquaeductus is een van de belangrijke schakels bij de verwer-

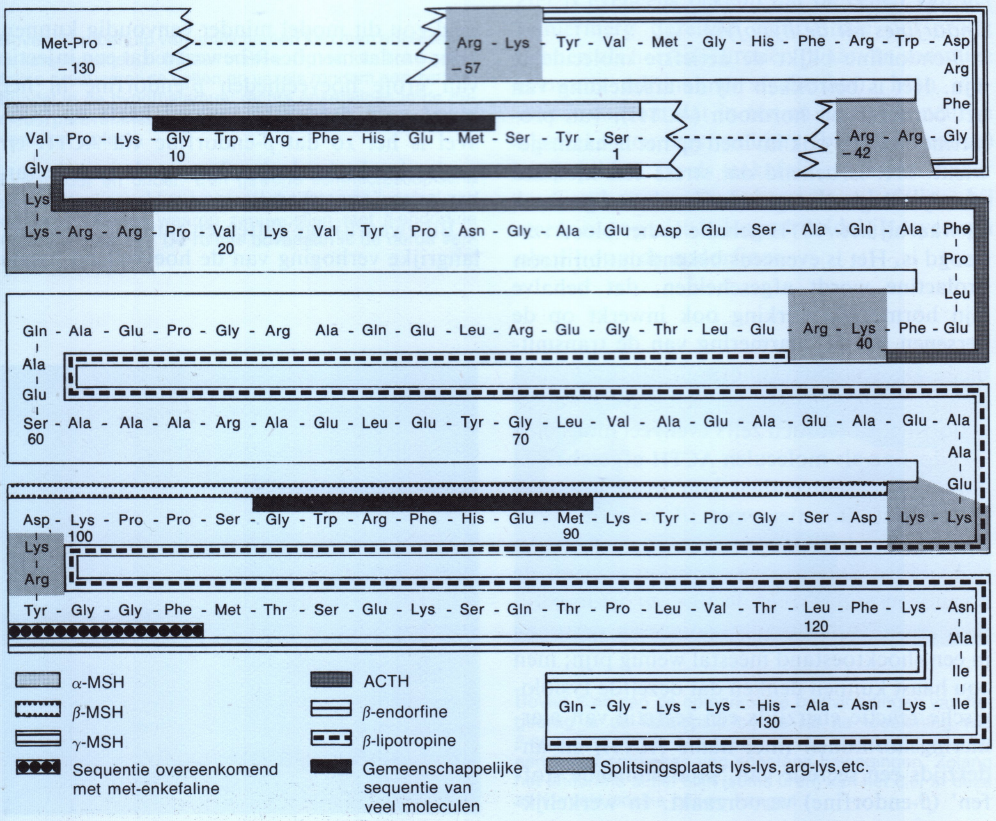


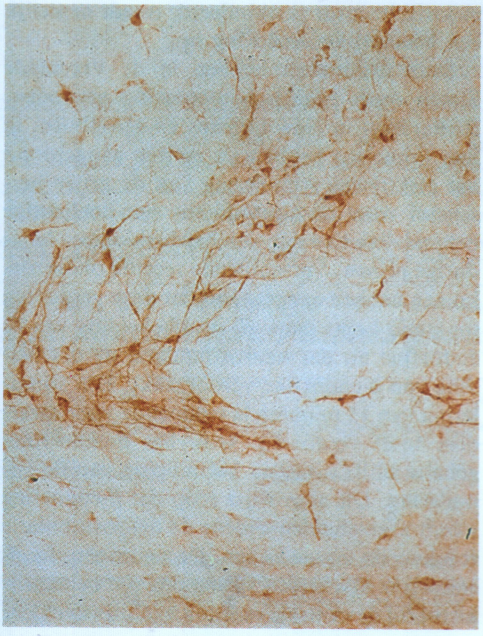
Boven: De behandeling van langdurige en hardnekkige pijnen kreeg in 1979 een nieuwe dimensie, toen Hosobushi vond dat elektrische stimulering van de grijze hersenstof een afscheiding van β-endorfine veroorzaakt en zo enige uren verdoving. Op de röntgenfoto's de prikkelelektrode en daaronder de stimulator.

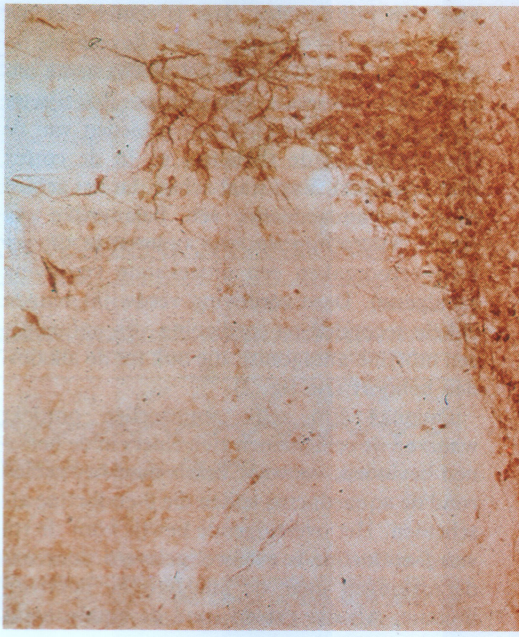
king van pijnsignalen. Het is echter niet het enige gebied dat betrokken is bij de centrale regeling van pijn, waarvan het mechanisme ongetwijfeld uitermate complex is. Zo zijn er pijnschakels in verschillende gebieden van de hersenstam, in de thalamus en in de cortex (hersenschors). Vast staat echter dat het gebied rond de aquaeductus een belangrijke rol speelt. Micro-injecties van opiaten in dit gebied veroorzaken een uitstekende verdoving (analgesie). Deze verdoving verdwijnt binnen enkele seconden na toediening van naloxone, een morfine-antagonist, die ook tot de alkaloïden behoort (zie fig. 2).

Onlangs zijn zelfs zenuwcellen ontdekt waarvan de cellichamen zich elders in de hersenen bevinden, vanwaar vezels naar het gebied rond de aquaeductus leiden die β-endorfine afscheiden. Het overtuigende bewijs voor de rol van β-endorfine is evenwel geleverd door onderzoekingen naar de analgetische neurostimulatie. Als het gebied rond de aquaeductus elektrisch wordt gestimuleerd, treedt namelijk een belangrijke verdoving op.

Deze technieken hebben in de Verenigde Staten reeds praktisch toepassing gevonden. Richardson in New Orleans en Hosobushi in San Francisco hebben als eersten aangetoond dat elektrische stimulering van de grijze hersenstof rond de aquaeductus een doelmatige behandeling kan zijn van hardnekkige en langdurige pijnen. Verschillende recente onderzoekingen hebben aangetoond dat deze verdoving tot stand komt dank zij de afscheiding van β-endorfine en dat neurostimulatie de afscheiding van β-endorfine veroorzaakt. Een stimulering van 15 minuten is voldoende voor meerdere uren verdoving. Ook het β-endorfinegehalte blijft hoog na beëindiging van de stimulering. Dit alles wijst erop dat β-endorfine wordt afgescheiden tijdens de neurostimulatie rondom de aquaeductus. De neuronen die β-endorfine afscheiden spelen dus een belangrijke rol bij de centrale regeling van pijnsignalen.





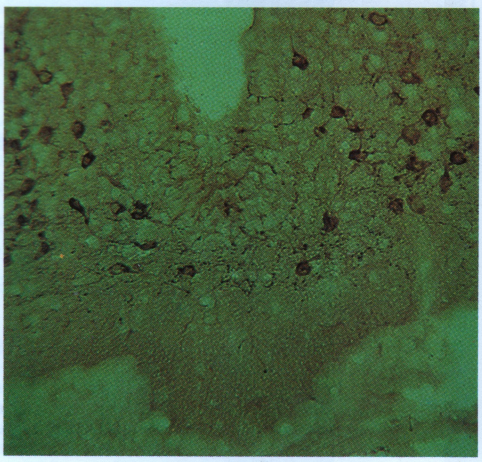


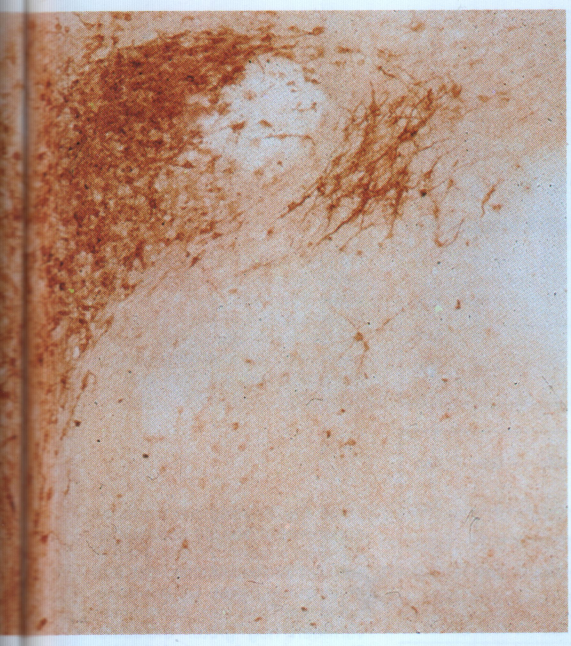
Endorfines uit de hypofyse

β-endorfine blijkt de actiefste molecule te zijn. Het is betrokken bij de afscheiding van het corticotroop hormoon (ACTH), van prolactine en heeft ook invloed op het lichaamsgewicht. Het is bekend dat stress een toestand van fysiologische agressie van het organisme is, waarbij het ACTH-gehalte in het bloed verhoogd is. Het is eveneens bekend dat bij stress prolactine wordt afgescheiden, dat behalve zijn hormonale werking ook inwerkt op de hersenen bij de 'alarmering van de transmitters'. De secretie van deze beide hormonen gaat dan ook gepaard met een secretie van β-endorfine. Er worden zelfs evenveel moleculen β-endorfine als moleculen ACTH afgescheiden (equimolair). Bovendien kon worden aangetoond dat injecties met β-endorfine een prolactine-secretie veroorzaken.

Er blijkt dus een wisselwerking tussen de hormonen ACTH en prolactine, en het hypofysaire β-endorfine te zijn. Zo voelen personen in een shocktoestand meestal weinig pijn; men zou haast kunnen denken dat dezelfde fysiologische reactie enerzijds een secretie van alarmeringshormonen (met name ACTH) en anderzijds een secretie van 'pijnremmende stoffen' (β-endorfine) veroorzaakt. In werkelijkheid zou dit model minder eenvoudig kunnen zijn, omdat men heeft bewezen dat een injectie van grote hoeveelheden β-endorfine in het bloed geen duidelijke invloed heeft op pijn. Wel is het zo dat β-endorfine via ACTH en prolactine invloed uitoefent op de reactie van het organisme op stress.

Bij zwaarlijvige ratten en muizen is een belangrijke verhoging van de hoeveelheid hypo-





Boven: Met behulp van antilichamen kan men enkefalines in hersenplakjes zichtbaar maken. Op de foto links enkefaline-producerende cellen en vezels rondom een zenuwbundel in de hypothalamus; rechts enkefalines in de nucleus paraventricularis, aan beide zijden van de derde ventrikel (spleet).

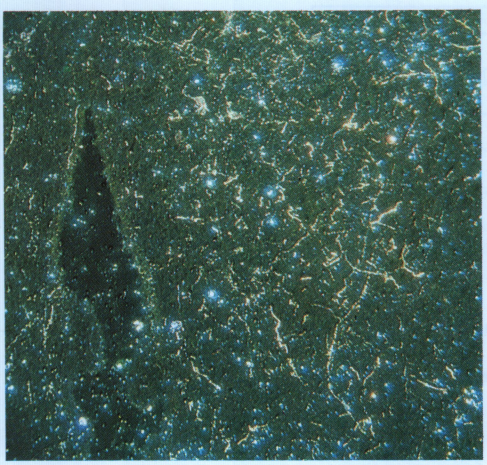
Linksonder en onder: Een gewone lichtmicroscopische en een donker-veld-microscopische foto van weefsel van de hypothalamus waarop zenuwcellen met β-endorfine (bruin) te zien zijn. De ruimte bovenaan is de derde ventrikel.

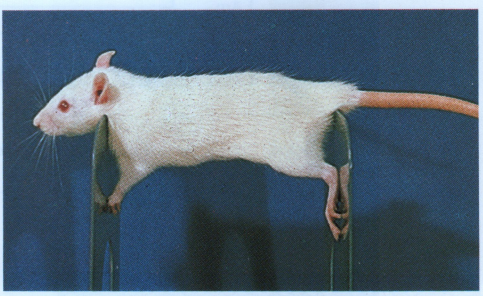
fysair β-endorfine vastgesteld. Sommige onderzoekers wijzen erop dat naloxone, een antagonist van de hersenmorfines, de eetlust remt. Het team van Margules en Apfelbaum en Mandenoff in Frankrijk veronderstelden daarom dat er verband tussen endorfines en zwaarlijvigheid zou kunnen zijn. Deze kwestie wordt in diverse centra onderzocht.

Enkefalines

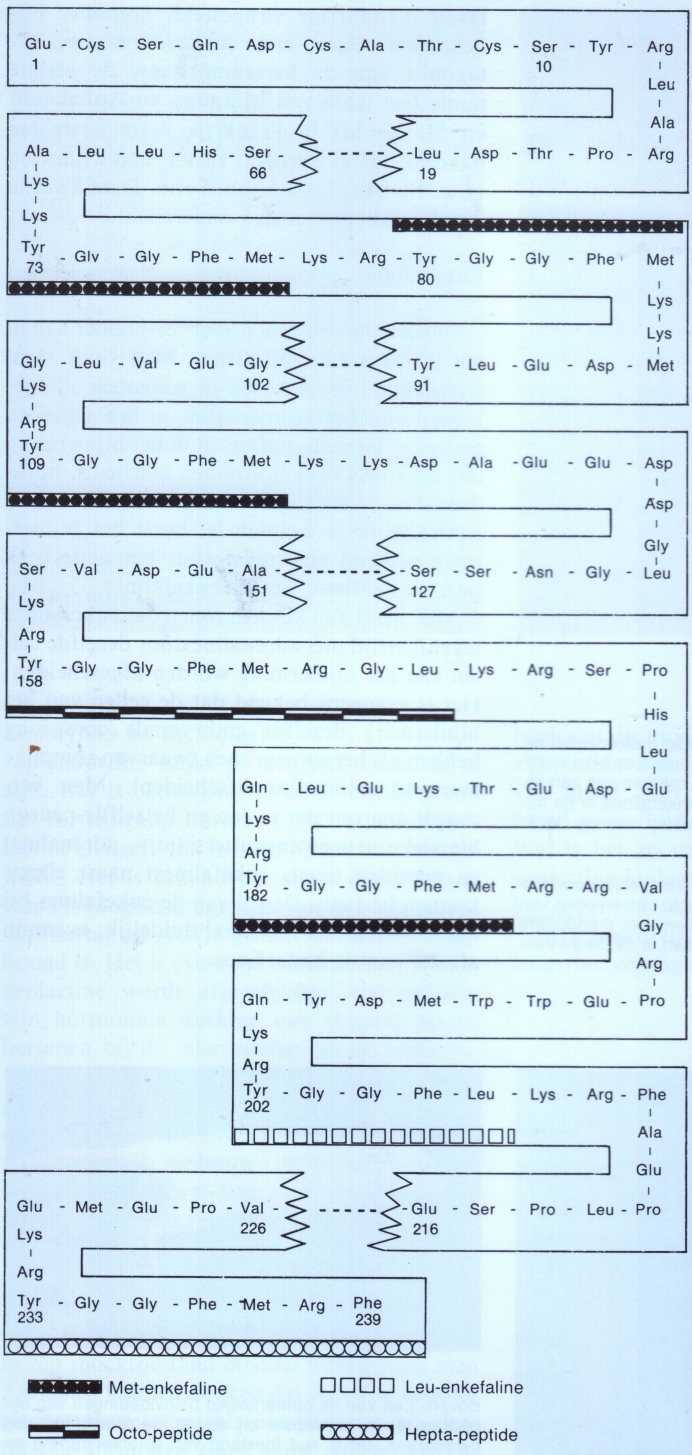
Enkefalines treft men veel verspreider aan in het lichaam dan endorfines. Men vindt ze in wisselende hoeveelheden in nagenoeg alle gebieden van het zenuwstelsel, in het achterste gedeelte van de hypofyse en in het bijniermerg dat bij stress twee hormonen afscheidt, noradrenaline en adrenaline. Aangezien dit orgaan gemakkelijk te isoleren is, heeft het bijniermerg gediend als model voor het onderzoek naar de synthese van de enkefalines.

Men heeft aan kunnen tonen dat enkefalines tegelijkertijd met adrenaline door dezelfde cellen van het bijniermerg worden afgescheiden. Het is eveneens bekend dat de cellen van het bijniermerg dezelfde embryonale oorsprong hebben als hersenneuronen (waarvan sommige eveneens adrenaline afscheiden). Men vermoedt daarom dat in één en hetzelfde neuron klassieke neurotransmitters (bijv. adrenaline) en peptiden (zoals enkefalines) naast elkaar kunnen bestaan. De rol van de enkefalines bij stress is nog niet helemaal duidelijk, evenmin als die van de endorfines.





Boven: Een van de opmerkelijke beïnvloedingen van het gedrag is de katalepsie bij de rat na toediening van β-endorfine. Dit is een toestand van spierverstarring en een totaal ontbreken van spontane bewegingen. Zolang het endorfine actief blijft (soms uren) kan het dier in deze abnormale positie blijven hangen.

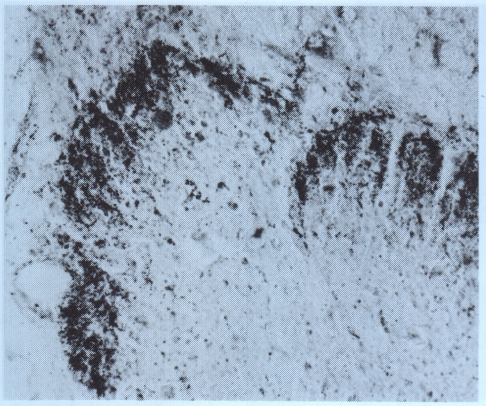


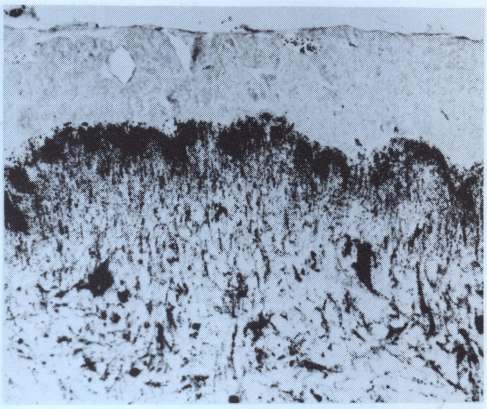
Rechts: Zenuwcellen met enkefaline komen bij mens en dier voor. Hiernaast neuronen met leu-enkefaline in het ruggemerg bij de mens en geheel rechts neuronen met met-enkefaline in het ruggemerg van een koe.

Links: Fig. 6. Vorig jaar werd pas opgehelderd hoe de enkefalines gemaakt worden. Ze stammen af van het pro-enkefaline, dat 239 aminozuren bevat. Dit pro-enkefaline kan ook nog afstammen van een nog groter molecule. Naast met- en leu-enkefaline komen er nog twee enkefalines (een heptapeptide en een octopeptide) in voor, die ook door het bijniermerg worden afgescheiden.

Rechts: Fig. 7. Deze doorsnede door de hypofyse toont dat deze klier betrokken is bij de afscheiding van diverse hormonen.

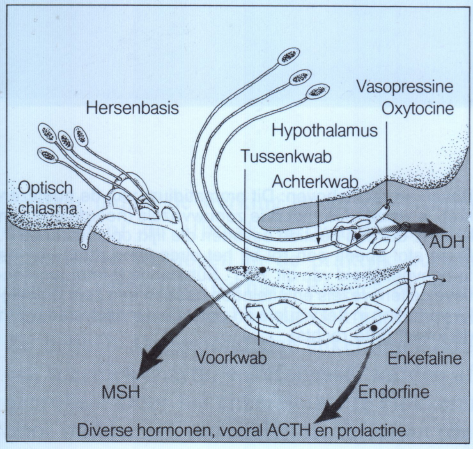
Geheel rechts: Op deze immuunelektronenmicroscopische foto is een enkefalinevezel te zien die eindigt op het neuroglia, gekenmerkt door vetbollen (V). De synaptische blaasjes (S) zijn ook aangegeven. Waarschijnlijk verloopt de regulatie van de vasopressine- en oxytocine-afgifte door enkefaline via het neuroglia. Ca. 90 procent van de hersenen is neuroglia. Over hun functie is weinig bekend. (19 000 x).

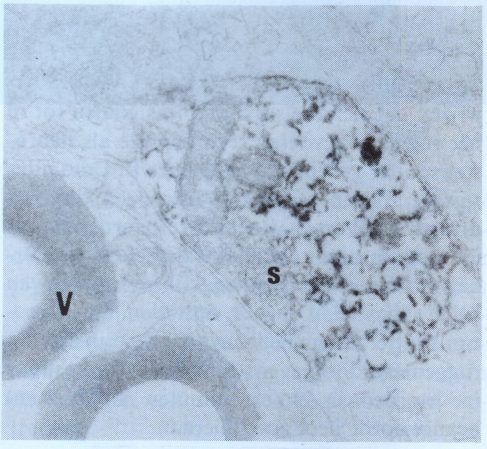


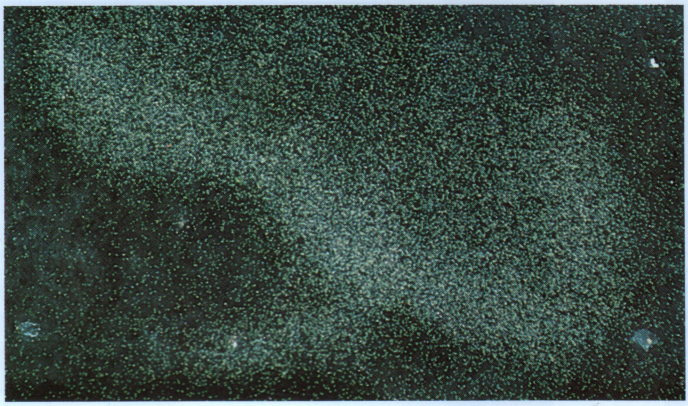


De manier waarop het bijniermerg de enkefalines maakt is wel geheel bekend. Het wordt geproduceerd uit een groot eiwit met een moleculemassa van ca. 30 000 dat pro-enkefaline wordt genoemd (zie fig. 6). Dit eiwit bevat talrijke sequenties met- en leu-enkefaline in een verhouding van zes tot één. Pro-enkefaline bevat nog twee andere enkefalines die, zoals kortgeleden is aangetoond, een functionele rol hebben; het is een peptide van zeven aminozuren (met-enkefaline plus nog twee aminozuren) en een peptide van acht aminozuren (met-enkefaline plus drie aminozuren, zie fig. 6). De biosynthese in de bijnier van deze vier enkefalines is dus het gevolg van de splitsing van een gemeenschappelijke voorloper: het pro-enkefaline.

De situatie wordt echter ingewikkelder bij het centrale zenuwstelsel. In de hersenen komen de vier hiervoorgenoemde enkefalines voor, maar in wisselende verhoudingen. Er worden ook nog andere enkefalines aangetroffen zoals dynorfine en α-neo-endorfine. Beide produkten zijn platte vormen van leu-enkefalines, de eerste met 17 aminozuren, de tweede met 10 aminozuren, maar hun aminozuurvolgorde komt niet voor in het uit het bijniermerg geïsoleerde pro-enkefaline. Men kan zich dus afvragen of er in de hersenen nog andere pro-enkefalines bestaan dan de reeds bekende. Ook is het mogelijk dat het pro-enkefaline bij het bijniermerg zelf een fragment is van een nog groter molecule dat ook dynorfine en α-neo-endorfine bevat.





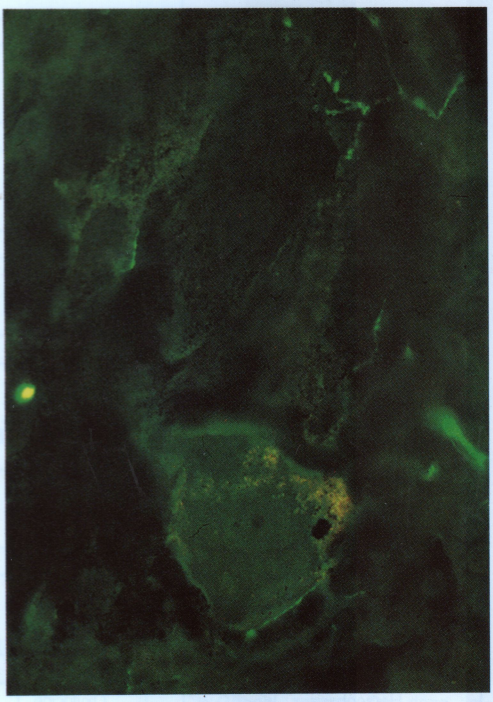


De witte zilverkleurige korrels in het ruggemerg van de rat geven de verdeling weer van de morfinereceptoren die overeenkomen met het gebied waar de kleine 'pijn'vezels vanaf de huid naar binnen komen.

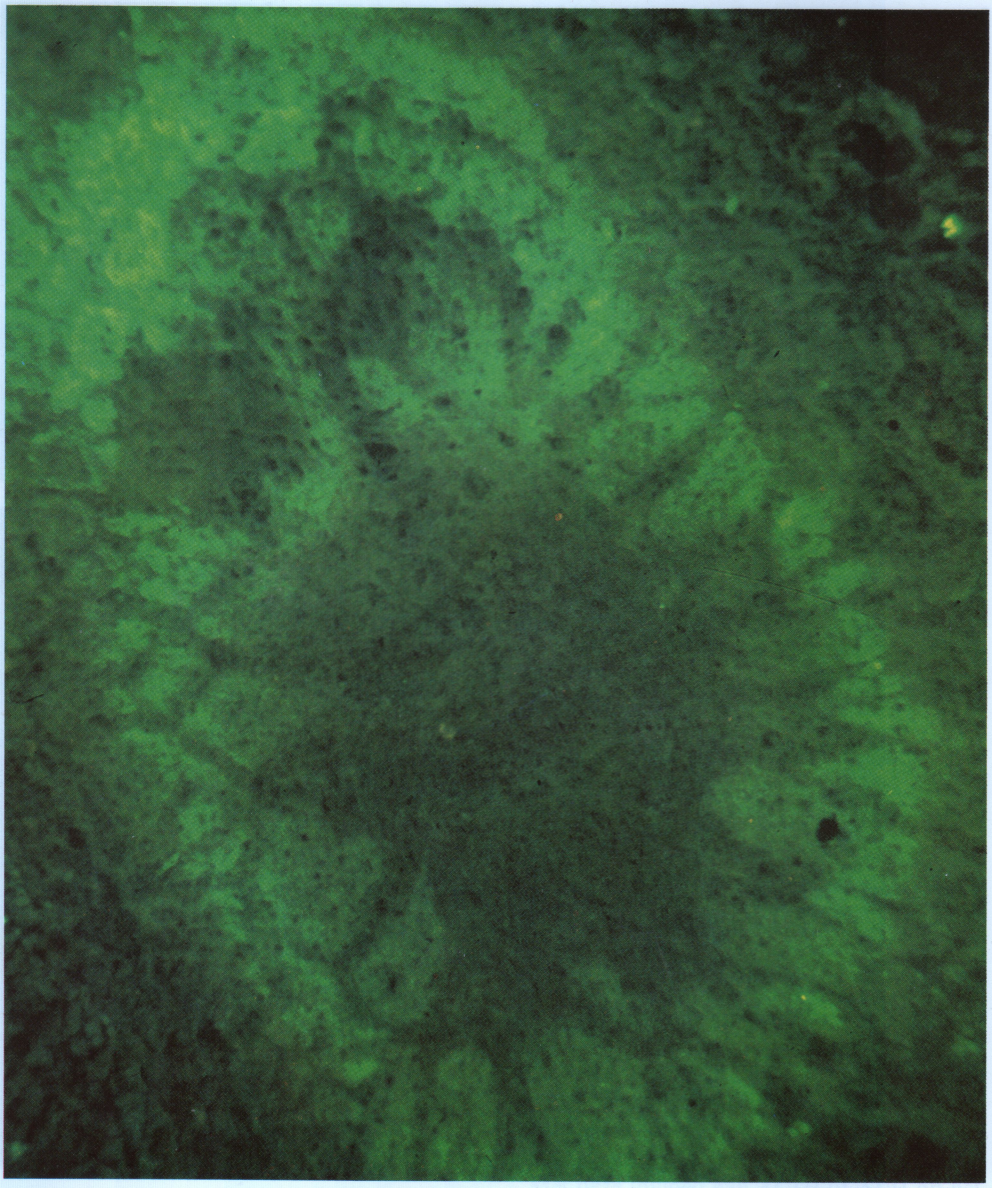
De rol van de enkefalines

Het achterste deel van de hypofyse scheidt twee hormonen af, Anti-Diuretisch-Hormoon (ADH) (of vasopressine dat de bloeddruk en de urinelozing reguleert) en oxytocine (dat de contracties van de baarmoeder veroorzaakt tijdens weeën en ook de melkproduktie op gang brengt). Waarschijnlijk beïnvloeden de enkefalines in het achterste deel van de hypofyse de afgifte van deze beide hormonen aan het bloed. Men wist al dat met opiaten afhankelijk van de diersoort de urine-uitscheiding beïvloed kon worden. Er was dus sprake van een werking op het ADH. In het laboratorium is aangetoond dat de secretie van de ADH of oxytocine kon worden gestopt door toediening van opiaten. Waarschijnlijk werken enkefalines als remmer op de hormoonafscheiding (zie de foto op pag. 557 rechtsonder).

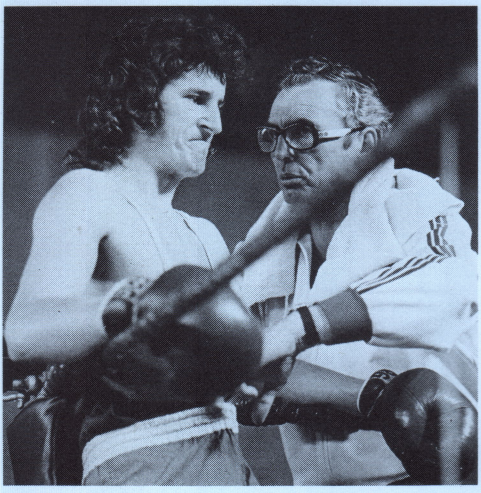
De enkefalines die overal in het lichaam voorkomen hebben ongetwijfeld allerlei functies. De tot dusver meest in het oog springende rol heeft betrekking op het 'doorgeven' (transmissie) van pijn. Men heeft ooit al kunnen bewijzen dat de vezels die de pijnsignalen tot in het ruggemerg voeren, een peptide als neurotransmitter gebruiken: substance P. Deze pijnsignalen kunnen weer worden geblokkeerd door tussenkomst van andere neurosystemen die op hun beurt enkefalines afscheiden. Derhalve zou een van de belangrijkste functies van enkefalines zijn dat ze optreden als neurotransmitter tussen neuronen die de pijn aan het ruggemerg doorgeven. Hun korte levensduur (ze worden in enkele minuten afgebroken) beantwoordt heel goed hieraan.



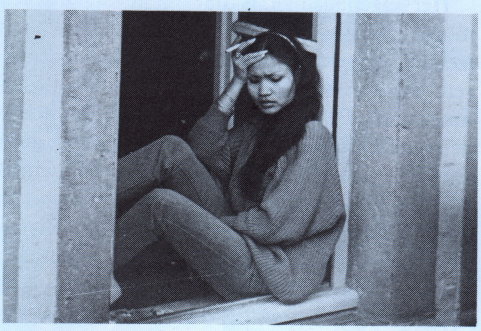
Boven en rechtsboven: Dit ommatidium van de hoefijzerkrab is verbonden met drie zenuwvezels (neerdalend van boven), die een peptide bevatten die lijkt op substance P. Deze stof speelt een rol bij het circadiane ritme van de fotogevoeligheid van dit 'oog'. Substance P-immuunreactieve cellen, vezels en uiteinden hebben een zeer duidelijke verdeling in het visuele en centrale zenuwsysteem van de kreeft (foto rechts).



Maar indien de werking ervan kan worden verlengd of de afbraak vertraagd, zou hun pijnstillend vermogen in de praktijk kunnen worden verhoogd. Bernard Roques en Jean-Charles Schwartz hebben dit ook geprobeerd. Ze hebben aangetoond dat enkefalines door een specifiek enzym, enkefalinase, worden afgebroken. Door het enkefalinase te blokkeren door middel van een inhibitor, thiophan (dus de afbraak van enkefaline wordt hierdoor verminderd) blijft de pijn langer weg. Na toediening van naloxone daarentegen komt de pijn weer terug. Daardoor beschikt men dus over technieken met uiterst belangrijke klinische toepassingen, te meer omdat op dit moment niet alleen in het ruggemerg maar ook in de hersenen zelf soortgelijke fenomenen optreden.



De neuronen die endorfines en de neuronen die enkefalines gebruiken, behoren tot afzonderlijke stelsels; ze zijn wel verwant aan elkaar door de rol die ze vervullen. Enkefalines en endorfines hebben invloed op stress en op emotionele reacties, al komen deze invloeden via verschillende wegen tot uiting. Ze hebben beide invloed op pijn, maar op verschillende niveaus van het zenuwstelsel (het ruggemerg met name voor de enkefalines, de hersenen voor de endorfines). Wat betreft de regeling van zwaarlijvigheid wijzen diverse recente onderzoekingen eveneens op een rol van de enkefalines uit de hypofyse. De korte levensduur ervan houdt in dat ze een rol als neurotransmitter spelen; de langere levensduur van de endorfines wijst op een stabielere en langdurige invloed (neurohormonen).



De endorfines en de enkefalines hebben grote invloed op de emoties van de mens. Deze emoties worden op verschillende niveaus en via diverse wegen beïnvloed. Toch liggen sommige emoties dicht bij elkaar; het gezicht van iemand die flink lacht lijkt soms op dat van iemand die verdriet heeft. Ook kan angst of spanning zich bijv. spontaan ontladen in een (soms hysterisch) gelach.

Hersenmorfines beïnvloeden het gedrag

Al deze moleculen hebben eveneens invloed op het gedrag; deze invloeden zijn echter complex en de hersenstructuren die eraan ten grondslag liggen zijn nog niet nauwkeurig genoeg bekend. Behalve in enkele heel bijzondere gevallen is het op het ogenblik nog moeilijk onderscheid te maken tussen endorfines en enkefalines. De beïnvloeding van het gedrag door de hersenmorfines zal derhalve gezamenlijk worden behandeld.

Er zijn talrijke onderzoekingen verricht naar de rol van morfine-achtige peptiden (morfino-mimetische peptiden) bij het aanleren en het geheugen. Zowel de enkefalines als de meeste endorfines schijnen in staat, of een bevorderende, of een storende invloed uit te oefenen op het aanleren en het onthouden van een aangeleerde taak. Al deze effecten staan in verband met de invloed van diverse peptiden op het leergedrag. Zo heeft Georges Ungar te Houston enkele jaren geleden een peptide van 15 aminozuren geëxtraheerd uit de hersenen van een rat die geleerd had het donker te vermijden. Georges Ungar stelde dat dit peptide een moleculair spoor kon zijn van de herinnering van deze taak; hij noemde dit peptide 'scotofobine', dat wil zeggen 'die angst voor donker veroorzaakt'.

Parallel daarmee hebben De Wied en medewerkers aangetoond dat diverse hormonen (ACTH, ADH of vasopressine) en hun derivaten zonder hormonale werking, het leervermogen bij de rat konden wijzigen. Eigenlijk is de interpretatie van de effecten van deze peptiden op het geheugen niet eenvoudig, omdat een proefdier nu eenmaal niet kan praten. Het gedrag wordt echter niet alleen bepaald door de geheugencapaciteit, maar ook door tal van andere factoren.

Met deze invloed van ACTH of ADH op het gedrag voor ogen, is het niet vreemd dat enkefalines of endorfines soortgelijke uitwerkingen hebben op het gedrag. Rest de vraag of dit rechtstreekse uitwerkingen zijn op het leervermogen en het geheugen van de rat, dan wel of ze kunnen worden verklaard, zoals dit het geval was voor de andere peptiden, door invloed op de emotiviteit (verhoogde prikkelbaarheid) van de dieren die indirect hun leervermogen zou wijzigen. Het verband tussen hersenmorfines en stress wijst heel duidelijk in de richting

van deze hypothese: een hoofdzakelijk 'emotionele' werking van de morfine-achtige peptiden.

In dat verband zijn de hypothesen van De Wied over de vergelijkbare uitwerkingen van diverse endorfines op het gedrag de interessantste. Hij gaat uit van onderzoekingen naar de invloed van endorfines op het leervermogen en het geheugen van ratten. Terwijl α- en β-endorfines het 'uitdoven' (dat wil zeggen het gedwongen vergeten) van een leeropdracht tegengaan, heeft γ-endorfine (dat slechts één aminozuur meer bezit dan α-endorfine) precies het tegenovergestelde effect: het bevordert het uitdoven. Een derivaat van γ-endorfine dat een tyrosine-molecule minder bezit – het 'des-tyrosine-γ-endorfine, DTγE, zie fig. 4) – werkt even goed als γ-endorfine zelf.

Omdat DTγE in de hersenen wordt aangetroffen, maar geen opiaatachtige werking uitoefent, kent De Wied aan dit peptide een specifieke werking toe: het α-endorfine en de soortgelijke peptiden hebben een stimulerende invloed, vergelijkbaar met die van amfetamines, terwijl γ-endorfine, DTγE, en hun derivaten juist een depressieve invloed hebben zoals die van neuroleptica.

Op grond van klinische proeven veronderstelde De Wied zelfs dat door toediening van DTγE bij patiënten met schizofrenie een zekere verbetering kan worden bereikt. De Wied stelt dat schizofrenie een oorzaak vindt in het metabolisme waarbij deze ernstige mentale ziekte wordt veroorzaakt door fouten in het metabolisme van het β-endorfine dat via γ-endorfine naar DTγE voert. Al naar gelang er een overschot is van β-endorfine alleen, dan wel te zamen met γ-endorfine, zouden er zeer gevarieerde symptomen optreden die veel voorkomen bij schizofrenie, een ziekte die allerlei verschijningsvormen heeft.

Het blijft evenwel een hypothese die wordt aangevochten door enkele onderzoekers die bij patiënten geen neuroleptische werking van DTγE hebben waargenomen. Ook het tegengestelde effect van α- en β-endorfine enerzijds en γ-endorfine en DTγE anderzijds is niet door alle onderzoekers vastgesteld. Le Moal te Bordeaux heeft bijvoorbeeld aangetoond dat de invloeden van beide groepen endorfines soms tegengesteld zijn aan die welke De Wied had vastgesteld; maar soms komen de resultaten ook weer wel overeen.

Gevaren en mogelijkheden in de toekomst

De morfine-achtige peptiden oefenen dus talrijke invloeden uit. In slechts enkele jaren tijd zijn deze stoffen in verband gebracht met een hele reeks biochemische en hormonale werking of met het gedrag. Talrijke punten moeten echter nog met grote voorzichtigheid benaderd worden en de verkregen resultaten hebben bijna evenveel vragen doen oprijzen als zij beantwoord hebben. Enkele van deze vragen zijn bijzonder belangrijk en zullen daarom in het kort belicht worden. Het betreft de werking, de fysiologische effecten en de praktische toepassing, alsmede de sociale gevolgen van deze familie van peptiden.

Wat betreft de werking van deze stoffen in de cellen, hebben talrijke farmacologische onderzoeken aangetoond dat er op diverse plaatsen in de hersenen receptoren voor opiaten voorkomen. Deze receptoren hebben evenwel niet altijd dezelfde farmacologische eigenschappen. Men onderscheidt met name de μ-, de δ- en κ-receptoren. Hoewel hierover op het ogenblik nog geen zekerheid bestaat, lijkt het waarschijnlijk dat de μ-receptoren overeenstemmen met endorfines, de δ-receptoren met enkefalines en de κ-receptoren met dynorfine.

Het eigenaardige is dat in geval van een morfineverslaving geen enkel verschil kan worden gevonden, noch in het aantal receptoren, noch in het aantal stimulerende peptidemoleculen. De ontdekking van morfine-achtige peptiden heeft dus paradoxaal genoeg geen enkele verklaring geleverd voor morfineverslaving op cellulair niveau. Het metabolisme en de werking van peptiden met dezelfde eigenschappen als morfine schijnen niet te worden verstoord na toediening van morfine. Voor de chemische interpretatie van de invloed van drugs is dit een tamelijk verbazingwekkende mislukking die (hopelijk) door verder onderzoek overwonnen kan worden.

Dit is de zgn. tie-dye cave, een poging van een groep mensen om de visuele effecten van een hallucinatie weer te geven. Veel morfine-achtige peptiden kunnen nu al synthetisch nagemaakt worden en misschien via illegale kanalen in de handel terechtkomen. Het gevaar hiervan is niet denkbeeldig, denk maar aan heroïne of LSD.

Onder: Deze opium-roker in Iran gebruikte toen hij 18 was en een groot atleet een beetje opium om zich op te peppen voor een grote atletiekwedstrijd. Hij rookte op het laatst 50 gram per dag en spendeerde al zijn geld eraan. Zijn leeftijd toen de foto gemaakt werd . . .28 jaar.

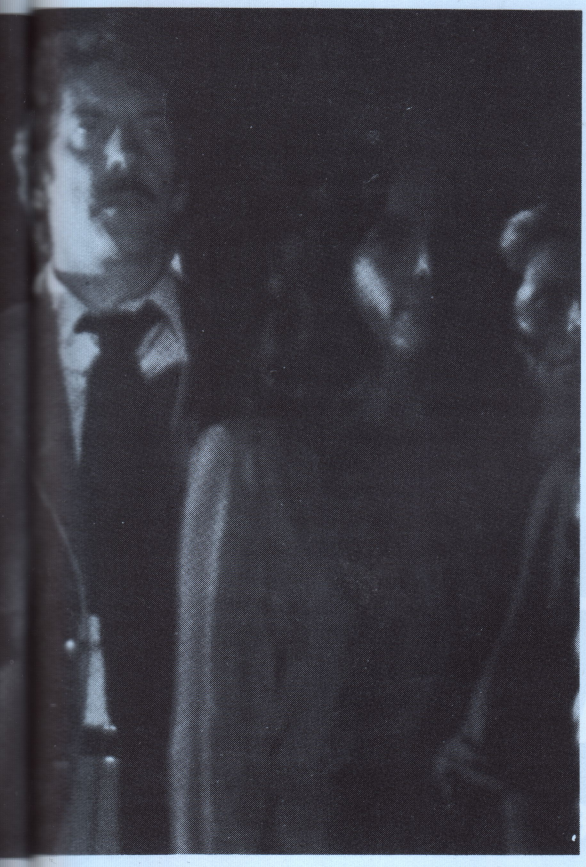
Rechts: Manipulatie van een gehele volksmassa en uitschakeling van de persoonlijke wil. Een van de gevaren van het huidige onderzoek naar de werking en synthese van hersenhormonen. Dit is een scène uit de film 'The Invasion of the Body Snatchers'.

Wat de praktijk betreft zijn er veelbelovende toepassingen van deze stoffen die een grote rol kunnen gaan spelen in de bestrijding van pijn. Tevens kan worden aangetoond dat er talrijke relaties bestaan tussen de 'hersenmorfines' en de endocriene aspecten van stress. Ook hebben hersenmorfines zowel opwekkende als kalmerende invloeden op het gedrag. Ongetwijfeld mogen beide effecten met elkaar in verband worden gebracht en mag men veronderstellen dat de morfine-achtige peptiden een rol spelen bij de regeling van bepaalde aspecten van emotioneel gedrag. Dat men een groot aantal receptoren voor dezelfde stoffen in het perifere systeem heeft aangetroffen, ondersteunt deze hypothese.

Een beter begrip van de werking van de hersenmorfines en receptoren zal ongetwijfeld de emotionele reactie in geval van stress kunnen verbeteren, zelfs in pathologische situaties. Op therapeutisch gebied zijn de perspectieven van de hersenmorfines dus zeer fascinerend.

Echter, elke wetenschappelijke ontdekking houdt ook risico's in; zo ook met de 'hersenmorfines'. Het gevaar bestaat dat er vroegtijdig drugs op de markt komen waarmee het gedrag willekeurig kan worden gewijzigd, bepaalde emoties kunnen worden opgewekt of zelfs bepaalde aspecten van de werking van de hersenen kunnen worden geregeld zonder nadelige bijwerking. Dit probleem bestaat natuurlijk voor alle drugs die kunnen inwerken op het gedrag en niet alleen voor endorfines. Maar de hierboven vermelde resultaten bewijzen dat er een grote kans bestaat dat de morfine-achtige peptiden de ontwikkeling van dergelijke produkten mogelijk maken.

Twee mogelijkheden doen zich voor bij gebruik van dergelijke stoffen: de kennis wordt geheim gehouden door totalitaire regimes om



een bevolking buiten haar weten te controleren; of deze kennis wordt verspreid en het algemeen gebruik van deze drugs door het publiek schept verontrustende sociale problemen. In beide gevallen zou men geconfronteerd worden met een van de gevaarlijkste toepassingen van de wetenschap, een toepassing die de mens voor het eerst in de geschiedenis zou bedreigen in de individualiteit van zijn denken en zijn eigen vrije wil, zonder dat hij zich daarvan echt bewust is...

Zover zijn wij nog niet. De gebruikte technieken van dit onderzoek kunnen nog niet tot dergelijke toepassingen leiden. Maar omdat de wetenschap en haar toepassingen in ons technologische tijdperk snel evolueren, is het toch nuttig nu reeds dit eventuele probleem aan te stippen. In ieder geval moet men zeer voorzichtig omspringen met de toepassing van deze moleculen die onze manier van denken en voelen zo grondig zouden kunnen wijzigen.

De vooruitzichten voor medische toepassingen zoals die vermeld zijn en de kennis die door de ontdekking van deze moleculen tijdens de laatste 10 jaar wordt verkregen over de werking van onze hersenen, zijn echter al voldoende om dit gebied te beschouwen als een van de rijkste en meestbelovende van het moderne biologische onderzoek.

Literatuur

Hughes, J. et al, (1978). *Les morphines de cerveaux.* La Recherche *93*, pag. 866.

Margules, D.L., (1978). Science *202,* pag. 988.

Akil, H. et al, (1978). Proc. Nat. Acad. Sci. *75,* pag. 5170, USA.

Hosobushi. Y. et al, (1979). Science *203,* pag.279

Roques, B.P. et al, (1980). Nature *288,* pag. 286.

Chapouthier, G., Kreutzer, M., Menini. Ch., (1980). *Psychophysiologie, le Système nerveux et le Comportement.* Editions Etudes Vivantes.

Wied, D. de, (1979). *Neuropeptiden en gestoord gedrag. Een hypothese voor het ontstaan van schizofrenie.* Natuur en Techniek *47,* 12, pag. 654.

Matras, J.J., Chapouthier, G., (1981). *L'inne et l'acquis des structures biologiques.* Collection Le Biologiste Presses Universitaires de France, Parijs.

Chapouthier, G., Matras, J.J., (1982). *Introduction au fonctionnement du système nerveux.* Editions MEDSI, Parijs.

Leeuwen, F.W. van, Pool, C.W., Sluiter, A.A., (1983). Neuroscience *8,* pag. 229.

Bronvermelding illustraties

Jorge R. Mancillas en Jacqueline McGinty, The Salk Institute, San Diego, Ca.: pag. 546 links.

F.W. van Leeuwen, Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek, Amsterdam: pag. 546 rechts, 554-555 boven, 557 rechtsonder.

Fotopersbureau Paul Mellaart BV, Maastricht: pag. 547, 560-561

M. Kuhar, The Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, Maryland: pag. 549.

Eric Chrichton, Bruce Coleman Ltd, Uxbridge: pag. 550 en 551 midden.

B. Roques, Faculté de Pharmacie-4, Parijs: pag. 551 boven.

Hosobushi, San Francisco: pag. 552.

Elena Battenbrug en Floyd E. Bloom, A.V. Davis Center for Behavioral Neurobiology, The Salk Institute, San Diego, Ca.: pag. 554-555 onder.

J.J. Vanderhaeghen, Université Libre, Bruxelles: pag. 557 boven.

M. Ninkovic, S.P. Hunt, MRC Neurochemical Pharmacological Unit, Cambridge: pag. 558 boven.

Jorge R. Mancillas, The Salk Institute, San Diego, Ca.: pag. 558 onder, 559.

Yale Joel, LIFE Magazine © 1966 Time Inc: pag. 563.

World Health Organization, Genève: pag. 564 links.

Nova-films, Amsterdam: pag. 564-565.

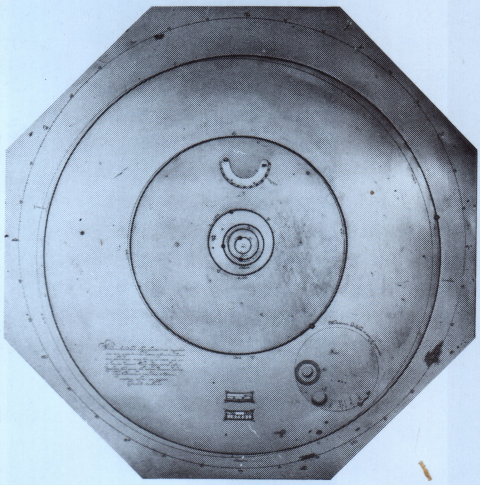
HET PROJECTIE PLANETARIUM

Sterren kijken overdag

Kik Velt
Zeiss Planetarium Amsterdam

. . . "Je betreedt een grote zaal met een wit koepelvormig dak. Comfortabel in een stoel gezeten staar je omhoog of even naar die 'spin', dat intrigerende instrument in het midden van de zaal. Dan wordt het donker, de lichten gaan uit. En zie, wolken beginnen over te drijven, een maansikkeltje staat aan de hemel, lichtpuntjes beginnen te verschijnen. Meer en meer worden er zichtbaar, terwijl het steeds donkerder wordt. De maan gaat onder, de wolken lossen op, de lucht wordt helder. En dan is het echt nacht, duizenden sterren stralen op je neer. Even vergeet je dat je binnen zit, ook al weet je dat het op dit moment misschien buiten regent. Plotseling beginnen de sterren te leven, sterrenbeelden komen tevoorschijn, zoals de Grote Beer, of Orion en de Maagd. Een coördinatennet verschijnt, en nog één, maar ze draaien ten opzichte van elkaar, en op dat moment snap je pas wat die ingewikkelde cirkels nu inhouden. Cirkels verdwijnen, de sterren keren terug. Dan komt er plotseling een grote komeet over, of de heldere planeet Jupiter, laag aan de hemel in de Schorpioen, begint plotseling te groeien tot een grote bol met wolkenbanden en een rode vlek. Je hebt het gevoel dat je met stoel en al door de ruimte zweeft, kriskras door het zonnestelsel, langs de planeten, of nog verder, langs de melkwegstelsels van het heelal. Tenslotte keer je terug naar de aarde. Je ontwaakt uit een droom. De zon komt op. Het wordt weer licht. De reis is voorbij" . . .

Deze reis kan men meemaken in een planetarium, of om preciezer te zijn een (Zeiss) projectieplanetarium. Nederland was één van de eerste landen ter wereld met een dergelijk planetarium, maar na het afbranden van dit Haagse planetarium in 1976, ook één van de laatste landen van Europa die er geen had. Met de opening van het nieuwe Zeiss planetarium in Amsterdam vorig jaar is daar een eind aan gekomen. Brussel heeft al langer een planetarium, al vanaf de wereldtentoonstelling in 1958. De opening van het Amsterdamse planetarium en de belangstelling voor planetaria in het algemeen, waren aanleiding om eens nader op dit fenomeen in te gaan en vooral om de werking ervan eens onder de loep te nemen.

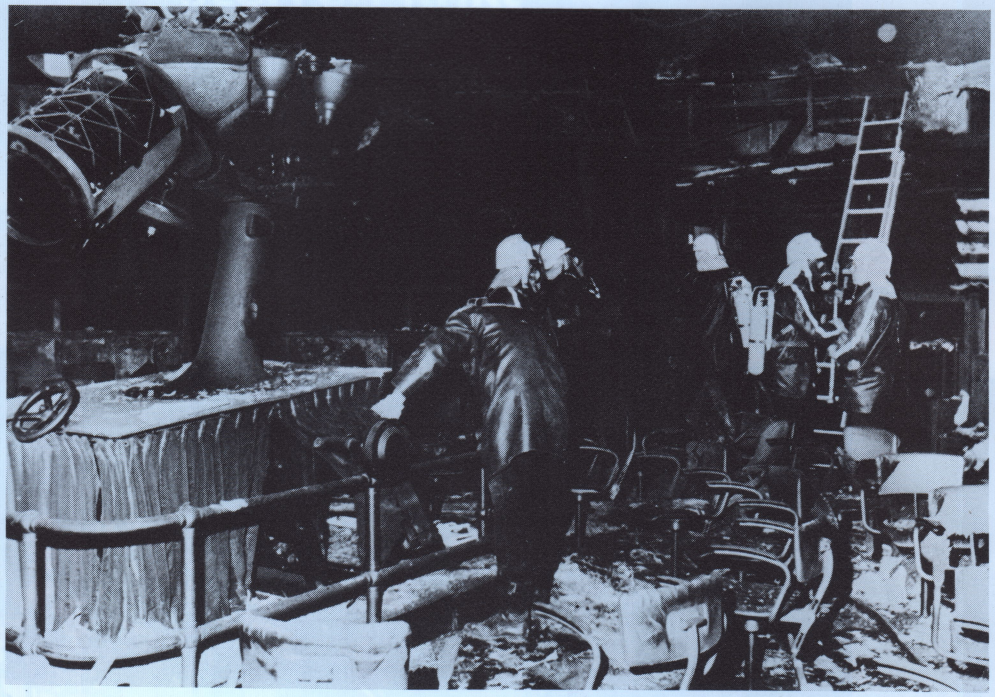


Boven: Het planetarium van Christiaan Huygens uit 1682. In dit miniatuur zonnestelsel, zijn tijd ver vooruit, lopen de planeten in excentrische banen met onregelmatige snelheid om de zon. De 8-hoekige doos is 70 cm breed, 15 cm hoog en wordt door een veer-uurwerk aangedreven.

Geschiedenis

Al sinds de vroegste oudheid heeft de mens met verwondering de hemel aanschouwd. Hij

Onder: Het planetarium in Den Haag na de brand vn 1976. Tussen de puinhopen staat de trieste rest van wat eens de schitterende Zeiss model I projector was. Op dit ogenblik is men bezig met de voorbereidingen voor de bouw van een nieuw planetarium. Dit zal meer een ruimtetheater zijn met gesimuleerde ruimtereizen.

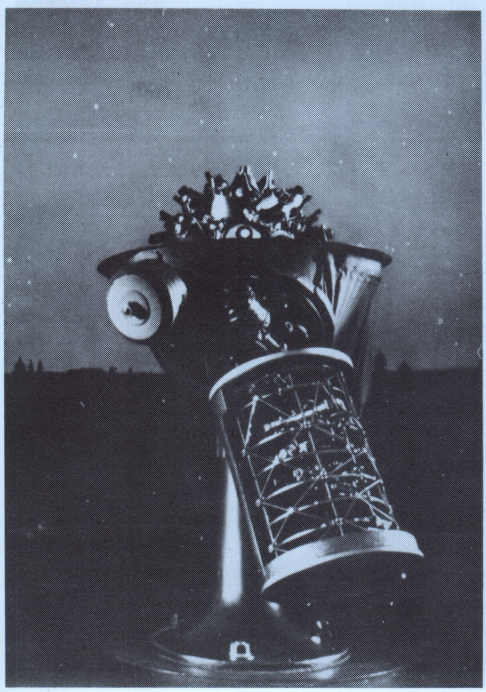


zag sterren, die ten opzichte van elkaar altijd op dezelfde plaats stonden, maar alsof ze op een bol (sfeer) vastgeprikt zaten, wel in hun geheel om hem heen draaiden. Hij zag dwaalsterren, die blijkbaar op hun eigen sfeer bewogen, en dat op onregelmatige manieren deden. En dan had je natuurlijk de machtige zon en de wispelturige maan.

Pas sinds het werk van Copernicus, Galileï en Kepler in de 16e en 17e eeuw weten we dat al deze schijnbaar ingewikkelde bewegingen verklaard kunnen worden doordat de aarde en de andere planeten zich in ellipsbanen om de zon bewegen. In de 17e eeuw kwam men op het idee een schaalmodel van het zonnestelsel te bouwen, waarin de planeten met de juiste hoeksnelheid en op de juiste afstand om de zon heen draaiden. (Hoogstens het eerste wat vergroot en het laatste wat verkleind.) Daarmee kon men veel beter uitleggen hoe de planeten om de zon heen draaien. Een van de eerste zonnestelselmodellen, dat nu nog steeds in het museum Boerhaave in Leiden te bewonderen is, was dat van Christiaan Huygens uit 1682 (zie de foto links).

In de volgende eeuw vinden we al weer geavanceerder modellen. Bijvoorbeeld die waar de aarde en de maan echt als bollen zijn afgebeeld, en men kan zien hoe de scheve aardas zijn stand behoudt, hoe de maan om de aarde draait en van schijngestalte verandert. Later werden ook de andere planeten met maantjes ingevoerd. Zulke modellen worden vaak in het Engels 'orreries' genoemd, naar Charles Boyle, die in het begin van de 18e eeuw graaf van Cork en Orrery was en hele collecties van zulke mechanische snufjes er op nahield. Eise Eisinga uit Franeker bouwde tussen 1774 en 1781 ook een orrerarium. Dit was echter geen klein model meer, het vulde zijn hele huiskamer. Het was een echt planetarium, een plaats waar je de planeetbewegingen kon zien.

Onder: De oorspronkelijke model I projector van Zeiss in het museum in München in 1923. Duidelijk kan men de planeetkooien onderscheiden en het tegengewicht (links). Bovenaan steken de projectoren op de sterrenbol uit een soort schaal die voor de horizon-afkap zorgt. Hierdoor worden de sterren niet op de grond geprojecteerd.



Het eerste projectieplanetarium

Eind 1913 zaten Max Wolf, van de Landesobservatorium te Heidelberg en Oskar von Miller, de eerste directeur van het Deutsches Museum te München te praten over een combinatie van globeplanetarium met sterren, (een bol waarin mensen de draaiïng van de sterren aan de binnenkant van de bol kunnen zien) en een orrerarium met planeten. De Zeiss Werke te Jena moesten dan uitzoeken hoe dat precies geconstrueerd zou moeten worden. Het schoot echter niet op, de oorlog kwam er tussen, en de constructie van zo'n grote bewegende bol viel niet mee. Toen kwam de chef-ingenieur van Zeiss, Walther Bauersfeld (1879-1959) in maart 1919 met het idee om een vaste halve bol (een koepel) te nemen en met projectoren te gaan werken, die samengebonden zouden ronddraaien: het projectieplanetarium.

In augustus 1923 was het zover dat in een testkoepel voor het eerst de planetariumhemel oplichtte. Al vanaf het begin was het succes overweldigend. Het personeel van Zeiss en later het publiek dat in duizenden de sterrenhemel kwam bewonderen, allen waren verrukt en enthousiast over de schitterend natuurgetrouwe weergave van de sterrenhemel en van de bewegingen van zon, maan en planeten. Dit was het model I, bestemd voor het museum in München. In 1926 volgde een tweede, dat al

iets uitgebreider was en via de nodige omzwervingen in 1934 in Den Haag terechtkwam. Het heeft daar tot de brand trouw dienst gedaan.

Model I bestond uit een bol van 50 cm diameter, waarin rondom 32 objectieven zaten, die uitgerust waren met fotografische afbeeldingen van (getekende) sterrekaarten. Later nam men hiervoor koperfolie waarin met hele fijne ponsjes duizenden gaatjes in geprikt werden met exact de juiste groottes en plaatsen ten opzichte van elkaar. De bol kon om een as draaien, die naar een vaste positie aan de hemel was gericht, de positie van de poolster. Aan de bol, die een hoek van 23,5 graad maakte met de poolas, zat de precessie-as en tevens de hele planeetkooiconstructie. Dat was een soort open kooi waarin de projectoren voor de zon, maan en planeten ronddraaiden. Daarnaast waren er al speciale projectoren voor de melkweg, sterrenbeelden, namen en coördinaatlijnen. Dat men slechts de hemel op één geografische breedte kon laten zien vond men al spoedig bezwaarlijk. De zuidelijke sterrenhemel kon men wel laten zien, maar dan moest men de hele sterrenbol omdraaien. Een enorm karwei. Al in 1926 kwam Zeiss dan ook uit met model II dat al de typische haltervorm had. De halter kon om een centrale as draaien, die precies oost-west gericht was. Zo kon de poolshoogte veranderd worden, waardoor men als het ware een reis om de aarde maakte. Model II had ook al bijna alle bijzonderheden van latere modellen, die hier en daar in details wat verbeterd werden.

Onder: Het beroemde schilderij uit 1764 van Joseph Wright (1734-1797), 'A philosopher giving a lecture on the orrery'. In een miniatuur zonnestelsel of 'orrery' kon men te lering ende vermaak de planeetbewegingen bestuderen en genieten van de hoogontwikkelde mechaniek, dat de planeten in hun baan liet bewegen.

De modellen IV, V en VI

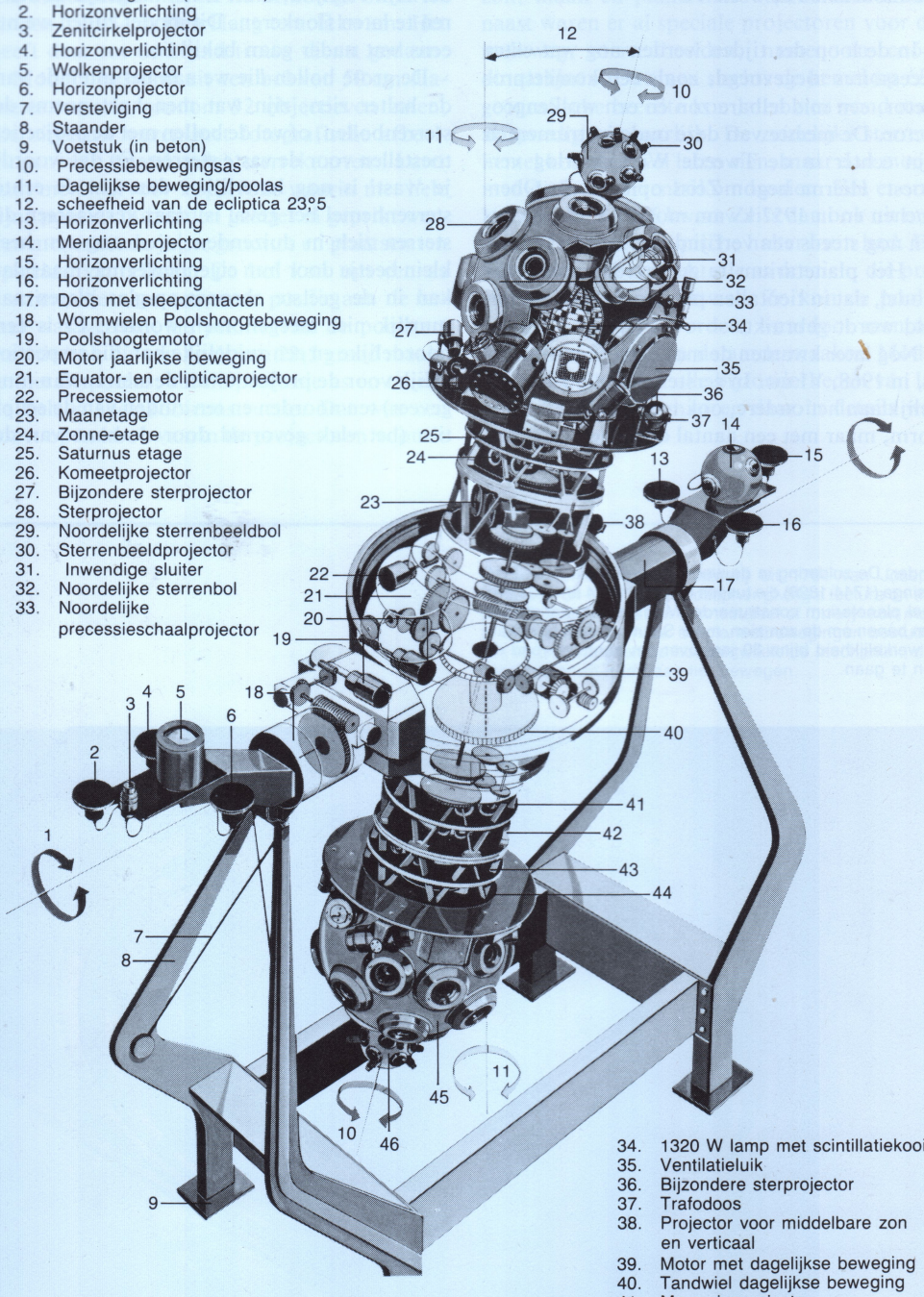
In de loop der tijden werden nog wat extra accessoires toegevoegd, zoals een komeetprojector, een middelbare zon en een wolkenprojector. De meeste van deze oude instrumenten zijn echter in de Tweede Wereldoorlog verwoest. Hierna begon Zeiss opnieuw in Oberkochen en in 1957 kwam model IV uit, in wezen nog steeds een verfijnde versie van model-II. Het planetarium te Amsterdam heeft dit model, dat in tientallen planetaria rond de wereld wordt gebruikt.

Nog later kwamen de modellen V en tenslotte, in 1968, VI uit. In eerste instantie zijn deze gelijk aan het oudere, ook met dezelfde haltervorm, maar met een aantal details die nog verder zijn verfijnd, o.m. is het mogelijk de sterren te laten flonkeren. Dit model zullen we nu eens wat nader gaan bekijken.

De grote bollen die we aan het uiteinde van de halter zien, zijn wat men kort noemt de sterrenbollen, ofwel de bollen met de projectietoestellen voor de vaste sterren. En dat woordje 'vast' is nog letterlijker dan aan de echte sterrenhemel het geval is: daar verplaatsen de sterren zich in duizenden jaren nog een heel klein beetje door hun eigenbeweging, maar dat kan in de geëtste chroom-op-glas platen natuurlijk niet meegenomen worden. Er is een noordelijke en een zuidelijke bol, die respectievelijk voor de projectie van de sterren van (ongeveer) ten noorden en ten zuiden van de ecliptica (het vlak gevormd door de baan van de

Onder: De zoldering in de woonkamer van de Fries Eise Eisinga (1744-1828) die tussen de jaren 1774 en 1781 een heel planetarium construeerde. Men kan de planeten in hun banen om de zon zien, maar Saturnus doet er net als in werkelijkheid bijna 30 jaar over om eenmaal rond de zon te gaan.

1. Poolshoogte-as (oost-west)
2. Horizonverlichting
3. Zenitcirkelprojector
4. Horizonverlichting
5. Wolkenprojector
6. Horizonprojector
7. Versteviging
8. Staander
9. Voetstuk (in beton)
10. Precessiebewegingsas
11. Dagelijkse beweging/poolas
12. scheefheid van de ecliptica 23°5
13. Horizonverlichting
14. Meridiaanprojector
15. Horizonverlichting
16. Horizonverlichting
17. Doos met sleepcontacten
18. Wormwielen Poolshoogtebeweging
19. Poolshoogtemotor
20. Motor jaarlijkse beweging
21. Equator- en eclipticaprojector
22. Precessiemotor
23. Maanetage
24. Zonne-etage
25. Saturnus etage
26. Komeetprojector
27. Bijzondere sterprojector
28. Sterprojector
29. Noordelijke sterrenbeeldbol
30. Sterrenbeeldprojector
31. Inwendige sluiter
32. Noordelijke sterrenbol
33. Noordelijke precessieschaalprojector

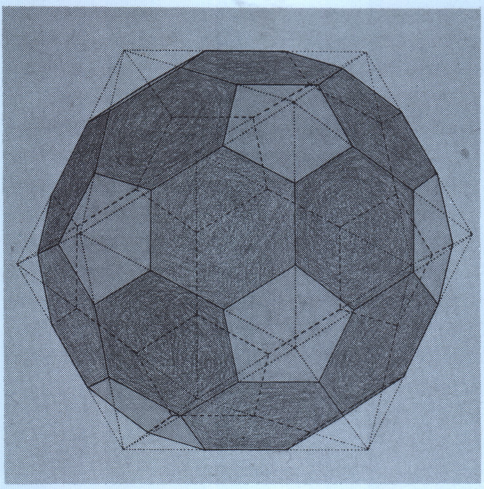


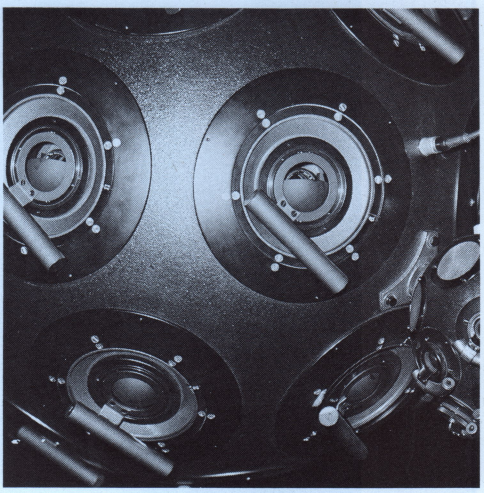
34. 1320 W lamp met scintillatiekooi
35. Ventilatieluik
36. Bijzondere sterprojector
37. Trafodoos
38. Projector voor middelbare zon en verticaal
39. Motor met dagelijkse beweging
40. Tandwiel dagelijkse beweging
41. Mercuriusprojector
42. Venusprojector
43. Marsprojector
44. Jupiterprojector
45. Zuidelijke sterrenbol
46. Zuidelijke sterrenbeeldbol

aarde) zorgen. Beide bollen bevatten 16 van zulke projectoren, die de hemel opdelen in een halfregelmatig 32-vlak (een dodecaëdrisch afgeknotte icosaëder, zie hieronder).

Het licht van de centrale 1320W kwikontladingslamp gaat eerst door de scintillatiekooi en dan in een van de 16 projectietoestellen. Het passeert hierbij een asferiese condensorlens, gaat dan als evenwijdige bundel door de sterplaat, passeert de sluiter en de lens met diafragma, om dan als een convergerende bundel precies op de koepel een scherpe afbeelding van de sterplaat te maken. Met het diafragma is het mogelijk de sterren te doven, zonder de lamp zwakker te zetten en daarmee de kleurtemperatuur te veranderen.

De scintillatiekooi is een gaaswerk met hier en daar 'obstructies', die stilstaand niet veel effect op de lichtbundel hebben. De donkere stukjes zijn veel kleiner dan de lensdiameters. Maar wanneer de kooi draait geeft dat variabele lichtintensiteiten, waardoor de sterren lijken te flonkeren. Maar een van de belangrijkste onderdelen van de projectietoestellen, van bijna elke in het apparaat aanwezige projector, is wel de sluiter. De sluiter is van onderen verzwaard, waardoor hij altijd horizontaal staat. Indien nu een projector omhoog staat, is de sluiter open en kan het 'ster'licht ongehinderd op de koepel schijnen. Als de sterren onder de horizon moeten verdwijnen (dus de projector naar beneden gericht wordt) begint de sluiter dicht te gaan. Zo wordt bereikt dat er op de muren of op de grond geen sterren zichtbaar zijn. Omdat bovendien de sluiters nabij de horizon dicht beginnen te gaan, wordt daar ook een deel van het licht weggenomen, wat meteen de natuurlijke verzwakking naar de horizon toe simuleert.





Links: Fig. 1. De opbouw van de projector van het type VI. De projector in Amsterdam wijkt slechts in details hiervan af. De cijfers verwijzen naar de verschillende onderdelen van de projector die ook op foto's in dit artikel te herkennen zijn.

Boven: En icosaëder (regelmatig 20-vlak) kan aan de hoekpunten worden afgeknot totdat er een dodecaëder (regelmatig 12-vlak) ontstaat. Het halfregelmatige 32-vlak is dan een aardige benadering voor een bol. Het wordt voor de sterrenbollen en leren voetballen gebruikt.

Rechtsboven: Een deel van de grote sterrenbol en een stuk (rechts) van het kleine sterrenbeeldenbolletje. Elke opening is een aparte diaprojector. De sluiters of 'poppen-oogleden' zorgen dat de sterren niet op de grond geprojecteerd worden. De staafjes aan de buitenkant houden deze sluiters horizontaal.

Ook de sterplaten, die de 8900 met het blote oog zichtbare sterren weergeven, zijn niet zomaar plaatjes uit een sterrenatlas. Van tevoren is precies berekend in hoeverre ze vertekend gemaakt moeten worden, opdat ze vanuit de excentrisch geplaatste sterrebollen op de juiste manier geprojecteerd kunnen worden. Voor de

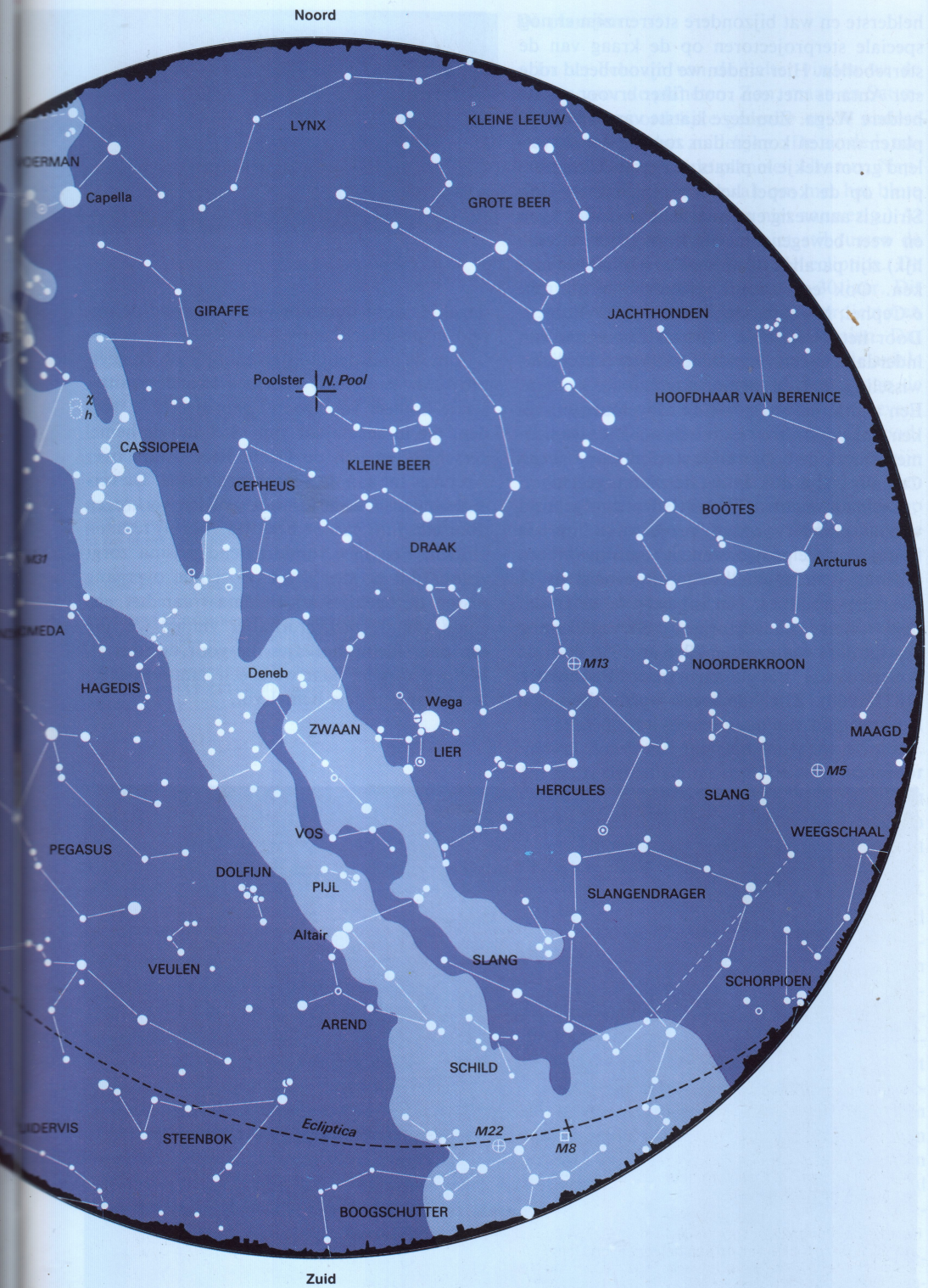
Geheel boven: Met aparte projectoren kan men de sterrenbeelden op de binnenkant van de koepel laten zien.

Boven: Nacht in het planetarium. De geprojecteerde sterrenhemel had zo die van Bangkok op het zuidelijk halfrond kunnen zijn. De Centaur en het Zuiderkruis zijn niet van echt te onderscheiden.

Rechts: De sterrenkaart voor Nederland en België 20 uur sterretijd. Deze hemel valt op een heldere avond, eind augustus om ongeveer 22 uur te verwachten. (Ontwerp Kik Velt, verfraaiïng Wil Tirion, auteur van Sky Atlas 2000).

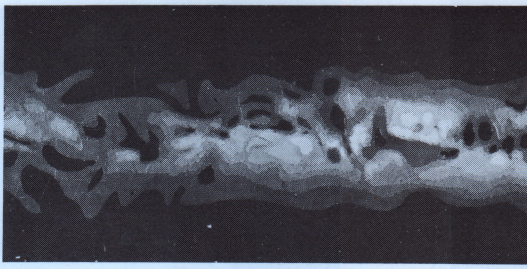
Veranderlijke sterren
Open sterrenhoop
Bolvormige sterrenhoop
Sterrenstelsel
Nevel

−1 0 1 2 3 4 5
Magnitudeschaal

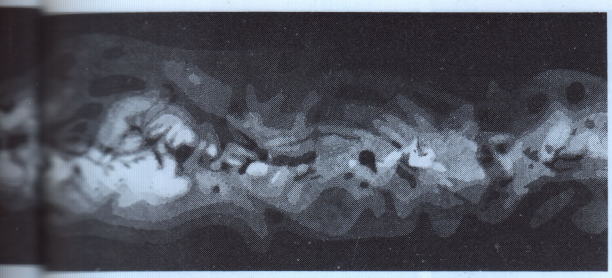

Noord
LYNX
KLEINE LEEUW
Capella
GROTE BEER
GIRAFFE
JACHTHONDEN
Poolster
N. Pool
χ
h
HOOFDHAAR VAN BERENICE
CASSIOPEIA
KLEINE BEER
CEPHEUS
BOÖTES
DRAAK
Arcturus
M31
M13
NOORDERKRON
Deneb
HAGEDIS
Wega
ZWAAN
LIER
MAAGD
M5
HERCULES
SLANG
VOS
WEEGSCHAAL
PEGASUS
DOLFIJN
PIJL
SLANGENDRAGER
Altair
SLANG
VEULEN
SCHORPIOEN
AREND
SCHILD
Ecliptica
M22
M8
STEENBOK
BOOGSCHUTTER
Zuid
West

helderste en wat bijzondere sterren zijn er nog speciale sterprojectoren op de kraag van de sterrebollen. Hier vinden we bijvoorbeeld rode ster Antares met een rood filter ervoor, of de heldere Wega. Zou deze laatste vanuit de sterplaten moeten komen dan zou dat een opvallend groot vlekje in plaats van een heldere sterpunt op de koepel hebben opgeleverd. Ook Sirius is aanwezig en kan een paar graden heen en weer bewegen om (sterk vergroot natuurlijk) zijn parallax of aberratie zichtbaar te maken. Ook een aantal veranderlijke sterren, δ-Cephei, Mira en Algol, zitten op de kragen. Door het veranderen van een diafragma kan inderdaad in een versneld tempo de echte lichtwisseling aan de hemel nagebootst worden. Een aantal nevels, zoals de Magelhaense wolken, maar ook sterrenstelsels zoals de Andromedanevel, de bolvormige sterrenhoop Omega Centauri, zijn ook in de sterplaten geëtst.

De melkweg met zijn nevels wordt afgebeeld vanuit cilindervormige projectoren op de kraag. In deze projectoren zit een film van een tekening van de melkweg, uitgevoerd in 11 zwartingsgradaties. Het is aardig te weten dat deze uiterst nauwkeurige melkwegtekening vervaardigd werd tussen 1906 en 1926 door de Amsterdamse hoogleraar Anton Pannekoek (1873-1960). Zijn handwerk wordt aldus nog dagelijks door duizenden mensen rond de wereld in planetaria aanschouwd!



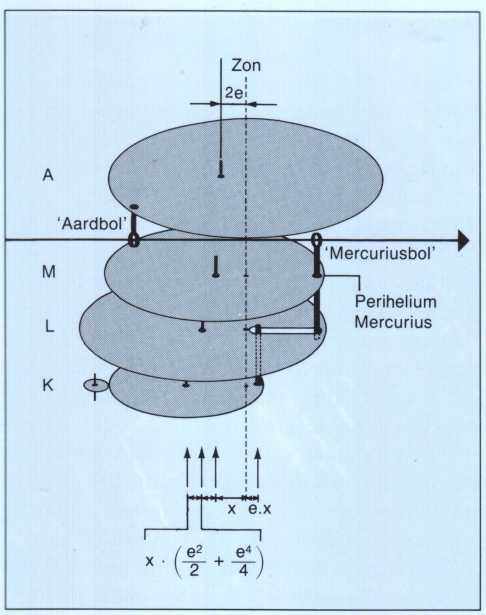
Aan de noordelijke sterrenbol is de komeetprojector bevestigd. Hiermee kan de schitterende komeet van Donati geprojecteerd worden, die in het najaar van 1858 aan de hemel verscheen en van de Grote Beer dwars over Arcturus tot aan de Schorpioen reisde. De veranderingen van de komeet worden verkregen door een film van 84 beeldjes voorbij te laten glijden. Een mee ronddraaiend prisma zorgt ervoor dat er steeds een vloeiende overgang tussen de beeldjes is. Helemaal aan het uiteinde van de projectorhalter vinden we nog een paar kleine bolletjes die voor de sterrenbeelden zorgen; naar wens een aantal geselecteerde of een hele hemel vol.



Boven: De tekening van de Melkweg van prof. A. Pannekoek uit het begin van deze eeuw. Nog altijd een van de fraaiste die er bestaan. Links de strook van de noordelijke en rechts de zuidelijke melkweg. De ware lengte is ongeveer 19 cm. De donkere band in de Zwaan, of de kolenzak in het Zuiderkruis zijn te onderscheiden. De film is bij Zeiss in 11 grijstinten uitgevoerd.

Linksonder: De planeetlussen in de sterrenbeelden Ram en Stier van de planeten Mercurius (lus) en Venus (s-haal) in de jaren 1980 tot 1983.

Onder: Fig. 2. De constructie (niet in model VI) door Zeiss gebruikt om de planeetbewegingen te simuleren. Voor de aarde een 2x excentrisch geplaatste schijf en voor Mercurius maar liefst 3 in elkaar grijpende schijven. Op de aangegeven verbindingslijn wordt de projector voor de binnenplaneet gemonteerd. Op deze manier kan heel nauwkeurig de positie van de planeet aan de hemel nagebootst worden.



De planeten

In het lichaam van de halter vinden we de kooien voor de planeten. Zon, maan en Saturnus in het noordelijke gedeelte en de andere vier planeten in het zuidelijke. (De aarde is natuurlijk afwezig en de planeten Uranus, Neptunus en Pluto zijn te zwak om met het blote oog te zien en zijn daarom niet aanwezig.) Al deze hemellichamen staan niet stil tussen de sterren maar bewegen langs de ecliptica. De maan in een maand, Saturnus in 30 jaar. Dit wordt gedaan door de planeetprojectoren rondom een verticale as te laten draaien. Dat is dan ook de belangrijkste reden dat de axiale as van de halter niet evenwijdig staat aan de aardse poolas, maar 23,5 graden helt en evenwijdig loopt aan de ecliptische poolas, loodrecht op het eclipticavlak. De projectoren zijn dubbel uitgevoerd, zodat het beeld te zien blijft wanneer het licht van een projector op een spijl of iets dergelijks valt. Bij het nieuwste model worden de planeten als heldere sterren afgebeeld, bij Jupiter en Saturnus is het ook mogelijk 1:9 in te zoemen. Eerst zie je de planeten als sterren, dan worden het kleine schijfjes, met de equatoriale wolkenbanden op Jupiter of de ringen van Saturnus. Tenslotte verschijnen beide als grote bollen.

Vanaf de zon gezien gaan alle planeten met vrijwel constante snelheid langs de ecliptica. De aarde draait echter rond de zon, waardoor de bewegingen van de planeten als lusfiguren aan de hemel verschijnen. Dit moet op de een of andere manier nagebootst worden. Dit kan door een miniatuur zonnestelsel in het instrument te bevestigen en te zorgen dat de verbindingslijn aarde-planeet aan de hemel afgebeeld wordt (zie figuur 2). Twee schijven, de aardschijf en de planeetschijf, draaien rond een middelpunt, waar de zon zich zou moeten bevinden. Op deze schijven zijn gewrichten bevestigd en daartussen zit een glijas, die de richting aan geeft waarin wij op aarde de planeet zien. Evenwijdig aan deze as wordt de projector (dubbel) bevestigd. Als nu de diameter van de schijven verhoudingsgewijs overeenkomen met de afstanden van de planeten tot de zon en ook de omloopsnelheid met de werkelijke, zal de projector de juiste lus op de koepelwand beschrijven.

Drie problemen moeten nog worden opgelost: de omloopstijden hebben de meest uiteen-

lopende waarden, planeetbanen zijn over het algemeen ellipsen die met een onregelmatige snelheid doorlopen worden en de baanvlakken liggen niet in het eclipticavlak. Het eerste probleem is gewoon de juiste keuze van tandwielen. Het laatste probleem wordt opgelost door de planeetschijven enigszins scheef te zetten ten opzichte van elkaar. Het blijkt nu voor het tweede probleem dat voor een planeet met een kleine baanexcentriciteit (zes van de planeten hebben een excentriciteit kleiner dan 0,08) de ellipsbaan prima wordt beschreven met een excentrisch geplaatste schijf, waar het middelpunt juist twee maal de excentriciteit van de zon-as afligt. Natuurlijk klopt dan de afstand van de zon (middelpunt) tot de planeet niet meer, maar dat is niet belangrijk: het gaat er om dat de positiehoek van de planeet juist wordt weergegeven. Voor de grotere excentriciteiten van Mercurius en Mars heeft men een constructie met drie schijven (zie fig. 2).

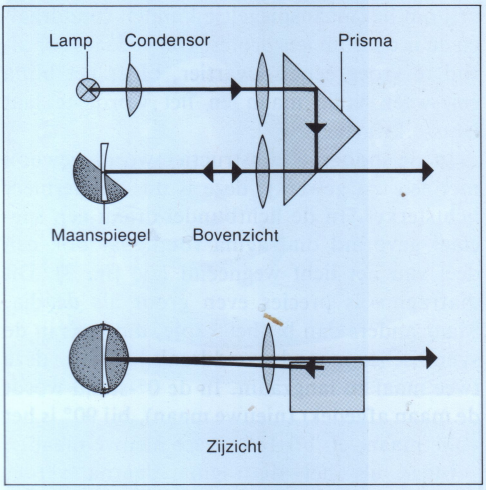
Zon en maan

De zon heeft de eenvoudigste projector. Hij hoeft maar één beweging uit te voeren: in één jaar langs de ecliptica. Door de excentriciteit van de aardbaan gaat dat niet met constante snelheid, maar dat is gemakkelijk op te lossen door, net als bij de planeten, de zonneschijf dubbelexcentrisch plaatsen. De projector zelf bestaat uit een felle lamp en een snelle lens. Toch is zelfs dat nog niet genoeg voor de dagster. Daarom zitten er naast de twee zonneprojectoren nog twee aureoolprojectoren, die een wazige lichtkrans om de zon maken, van enkele vierkante graden groot, zodat sterren die daar mochten staan overstraald worden en de zon nog helderder lijkt. Natuurlijk zit er in de zonneprojector ook een sluiter, zodat de zon normaal achter de horizon ondergaat.

De positie van de zon aan de hemel is belangrijk. Wanneer hij 's nachts onder de hori-

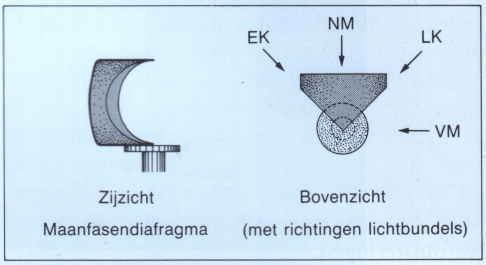
zon is, wordt via een prismasysteem een deel van het zonlicht naar achteren geworpen, zodat er pal tegenover de zon een wazig vlekje aan de hemel staat; dit is het zogenaamde tegenlicht, dat ook werkelijk bestaat. In de natuur ontstaat dit tegenlicht door de verstrooiing van zonlicht tegen stofdeeltjes die zich in de ruimte tussen de planeten bevinden.

Naast deze 'ware' zon aan de hemel, zit er aan het centrale middenstuk van de projector, vlakbij de maan-etage, nog een ring met de zogenaamde middelbare zon, die ook voor de verticaal en een uurcirkel gebruikt kan worden. Wordt deze uurcirkel aan de dag-jaarbeweging gekoppeld, dan gaat hij met constante snelheid in een jaar over de equator rond, vandaar de naam 'middelbare' zon.

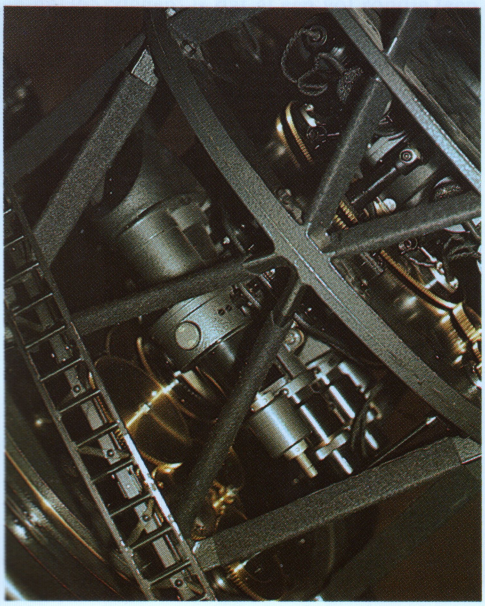


Links: Het verloop van de schijngestalten van de maan aan de planetariumhemel. Goedkopere planetaria van andere merken vertonen lang niet altijd de oppervlaktedetails van de maanzeeën.

Rechts: Fig. 3. Twee manieren voor het projecteren van de maanfasen. In het bovenste model wordt gewerkt met een kapje dat ronddraait voor het maanspiegeltje en zo een deel van het licht afdekt. In het onderste model wordt gewerkt met een speciaal gevormd diafragma.



Boven: De maanprojector in model IV. Een aantal tandwielen is goed te zien.



Er zijn verschillende manieren om de veranderende schijngestalten van de maan te laten zien. In de oudere modellen wordt gewerkt met een hol, wat gelig gekleurd spiegeltje met donkere vlekken (de zeeën). Met behulp van een lenzenstelsel en een omkeerprisma wordt licht op dat spiegeltje geworpen, dat vervolgens teruggekaatst, door de lens gaat en dan rechtdoor langs het omkeerprisma (zie fig. 3). De brandpuntsafstand van de laatste lens is zodanig dat een scherp beeld van het spiegeltje op de koepel verschijnt. Door nu een donker kapje voor het spiegeltje te laten ronddraaien wordt wat licht weggenomen en zo ontstaan de maanfasen. Het spreekt vanzelf dat de omwentelingssnelheid van dat kapje zodanig is, dat het in één synodische maand (de tijd tussen twee identieke schijngestalten: 29,53 dag) ronddraait. Het voordeel van deze constructie is de redelijke eenvoud, maar het nadeel is de lichtzwakte. Verder moet het kapje natuurlijk

vrij om het maanspiegeltje kunnen ronddraaien en is daarom iets groter. Het is daardoor altijd te vroeg eerste kwartier, blijft het bijna een week volle maan en het wordt te laat laatste kwartier.

In de moderne constructies wordt gewoon met een dia gewerkt; deze is dus zondermeer lichtsterker. In de lichtbundel draait een speciaal gevormd diafragma rond, dat ook een deel van het licht wegneemt (zie fig. 3). Dit diafragma is precies even groot als de dia. Maar anders dan bij het kapje, dat eens in de synodische maand ronddraait, draait deze twee maal zo langzaam. In de 0°-stand wordt de maan afgedekt (nieuwe maan), bij 90° is het volle maan, en bij 180° weer nieuwe maan.

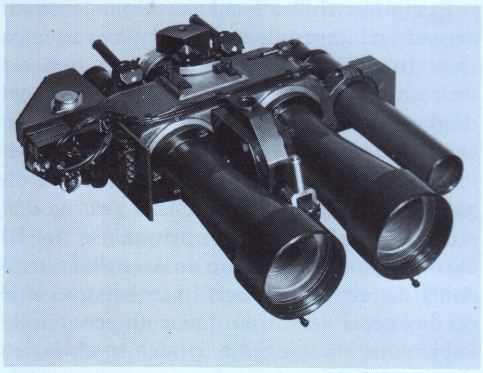
Maar als het diafragma daarna verder draait, begint de maan aan de verkeerde kant te wassen. Daarom is de constructie dubbel uitgevoerd met een tweede diafragma, dat in tegenfase draait, en bij nieuwe maan onzichtbaar wordt omgeschakeld.

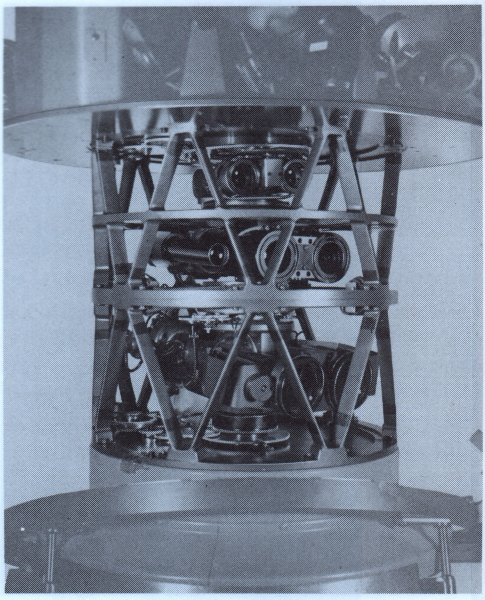
Ook is rekening gehouden met de inclinatie van 5° van de maanbaan op de ecliptica en de teruglopende beweging van de knopen in 18,61 jaar. Dit is nodig voor de weergave van de breedte van de maan op de ecliptica en bovendien het ontstaan van de zons- en maansverduisteringen.

Het middenstuk

In het middenstuk van het apparaat, waar de oost-west poolshoogte-as de halter doorkruist, vinden we de diverse motoren die via ingewikkelde series tandwielen voor de bewegingen zorgen. De eenvoudigste is de poolshoogte-motor die het hele instrument om de oost-west-as kan laten draaien, waardoor de hoogte van de pool boven de horizon, ofwel de geografische breedte van de waarnemer verandert. Bij de oudere modellen van Zeiss was dit een wisselstroommotor, die je in vier minuten rond de aarde kon voeren (altijd nog 170 km per seconde). Model VI is daarentegen met gelijkstroommotoren uitgevoerd. De snelheid hiervan is te variëren, zodat de reis om de aarde tussen de 1 tot 72 minuten kan duren.

Hetzelfde geldt voor de lengte van de dag. De tijd die het instrument nodig heeft om om de poolas heen te draaien ligt tussen de 0,5 en 36 minuten, heen en terug. Hierbij voert de schuinliggende as van de halter een soort tollende geweging uit. In de loop van de planetarium'dag' draaien alle sterren hun rondjes om de noordpool (poolster) of zuidpool heen, evenwijdig aan de evenaar. Als na een 'nacht' de zon weer opkomt, is de zon een klein beetje opgeschoven ten opzichte van de vaste sterren



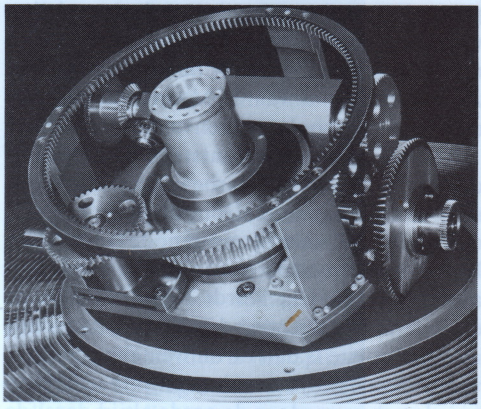


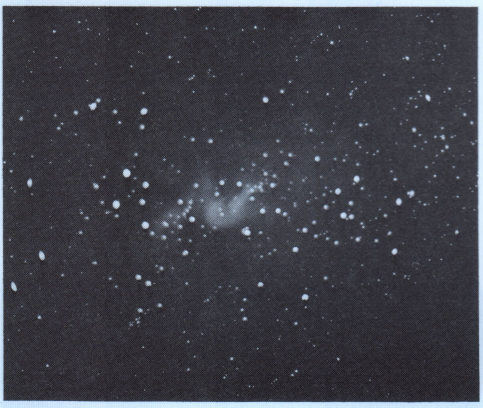
De zonneprojector uit model VI (boven). Het is een ingewikkeld stuk mechaniek door het invoegen van de schuif voor de zonsverduisteringen. Het projectortje rechts zorgt tijdens de totale zonsverduisteringen voor de corona. Op de foto hiernaast het middenstuk met de planeetprojectoren.

Rechts: Een opengewerkt deel van de projector. De tandwielen zorgen voor de dagbeweging en de precessie.

Onder: De sterrenhemel in het sterrenbeeld het Zuiderkruis en de Kiel met de Melkweg, zoals te zien in het planetarium.

Rechtsonder: De sterrenhemel in de buurt van het sterrenbeeld Orion. Links is de schaduw van het centrale apparaat zichtbaar, waardoor de daar afgebeelde sterren niet op de foto gekomen zijn. De heldere pit, net aan de rand, is wat strooilicht afkomstig van een melkwegprojector.





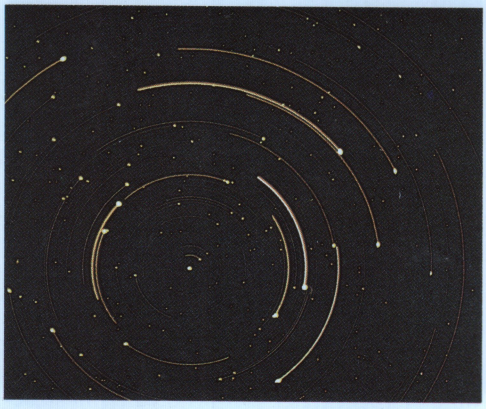
en na 365 'dagen' is dat al een vol rondje (een jaar). Via een vertragingsmechanisme wordt de dagelijkse beweging namelijk overgezet in de jaarlijkse, die echter ook apart met een motor uitgevoerd kan worden. Speciale differentieelmechanismen zorgen ervoor dat de dagbeweging wel de jaarbeweging langzaam aandrijft, maar niet omgekeerd.

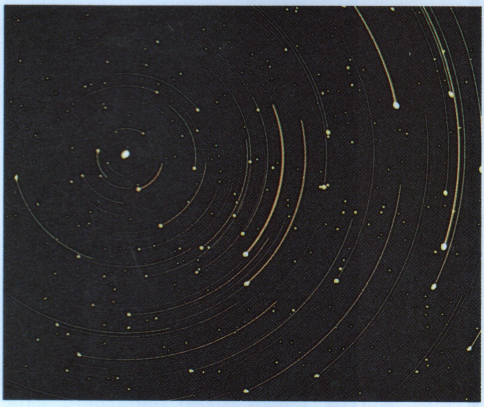
De jaarlijkse beweging drijft de zon, maan en planeten aan, waardoor deze op de juiste manier hun rondje langs de sterren lopen. Het 'jaar' kan zich ook hier in 30 seconden voltrekken, of tot 36 minuten uitgerekt worden. In de oudere planetaria zijn dag- en jaarbeweging niet met variabele snelheidsmotoren uitgevoerd, maar met meerdere motoren, die naar keuze met elkaar mee of tegen elkaar in kunnen draaien, waardoor een heel scala van bepaalde snelheden ontstond.

Als er nu een aantal jaren verstreken zijn in het planetarium, dan is al duidelijk te zien dat de sterren van hun coördinaatposities aan de hemel beginnen af te wijken. Dit is het effect van de precessie (de heel langzaam tollende beweging van de aardas). Zouden er in totaal zo'n 25 764 jaren verstrijken, dan zouden we zien dat de sterren weer op hun oude posities waren teruggekeerd. Net als de dagelijkse beweging de jaarlijkse aandrijft, drijft ook de jaarlijkse beweging de precessie aan. Daarnaast kan met een zelfde soort motor ook de precessie afzonderlijk bediend worden, tussen 1 en 72 minuten per omwenteling. Bij het bewegen van de precessiemotor, begint het apparaat om de axiale halteras te draaien en lijken de sterren om de ecliptische polen te bewegen. Onze poolster die nu de aardse noordpool aanwijst, begint deze te verlaten en over 12 000 jaar zal de ster Wega de noordpool aanwijzen. Met een projectortje dat een duizenden-jarentijdschaal op de koepel projecteert valt dit seculaire effect duidelijk te zien. Ook kan de

precessiebeweging gebruikt worden om de beweging van de sterren ten opzichte van de maan in de loop van een 'maan'-dag te laten zien, omdat de as van de Maan ongeveer met de ecliptische poolas samenvalt.

Een bijzonder effect ontstaat, als zowel de dagbeweging als de jaarbeweging in gelijke mate worden aangezet. Door de eerste beweegt de zon continu naar het westen, de laatste doet hem naar het oosten gaan: hij blijft stilstaan aan de hemel. Dat wordt het effect van de eeuwige middag genoemd (of ochtend, avond, nacht). In feite is dan de omwentelingsperiode van de aarde gelijk aan de jaarlijkse rondgang van de zon, waardoor de aarde altijd dezelfde kant naar de zon toekeert. Maar omdat de zon zich langs de ecliptica verder met onregelmatige snelheid beweegt als gevolg van de excentriciteit van de aardbaan en de dagelijkse beweging langs de evenaar gaat, slingert de zon op en neer en heen en weer: hij beschrijft in een jaar de 'analemma'. Hetzelfde kan men





doen met de precessie en de jaarbeweging: dat geeft het effect van de eeuwige lente.

Tenslotte treffen we in het middenstuk nog de projectoren voor de equator en de ecliptica aan. Samen met de meridiaan, pool- en zenitcirkel, die in het verlengde van de oost-west-as zijn gemonteerd, projecteren zij het hemelse coördinatennet.

Sommige planetaria hebben verder nog de mogelijkheid de hele tafel, waarop het instrument staat om een verticale as rond te laten draaien (waardoor men het uitzicht uit een ronddraaiende satelliet kan simuleren) en deze tafel op een hydraulische lift in de grond weg te laten zakken of omhoog te laten komen.

Met alle bovengenoemde mogelijkheden is de planetariumprojector een wonder van modern technisch vernuft en precisie. Een moderne Zeiss planetariumprojector bestaat uit meer dan 29 000 onderdelen. Bij goed onderhoud is het instrument zeer bedrijfszeker. Het Hayden Planetarium in New York was in 8500 dagen slechts 1 dag buiten bedrijf.

Andere planetaria

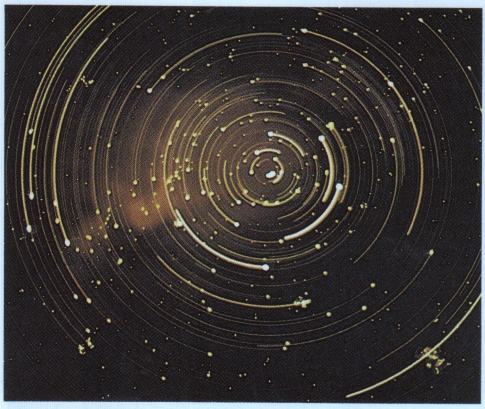
Jarenlang is Zeiss de enige firma geweest die planetaria leverde, maar na de Tweede Wereldoorlog veranderde dat. Vooral in de jaren zestig, het 'gouden' decennium, toen overal planetaria kwamen, mengden ook anderen zich in de concurrentiestrijd. Een van de eersten was de Amerikaan Armand N. Spitz (1904-1971) die in oktober 1947 met zijn beroemde model A uitkwam. Dit was nog niet bedoeld als concurrentie, maar meer als goedkoop alternatief, want Zeiss is nu eenmaal duur, omdat deze firma zichzelf zulke hoge kwaliteitseisen oplegt. (Men rekene nu op een bedrag met 6 nullen er achter.) Model A (prijs 500 dollar) bestond dan ook uit een dodecaëder, waarin gaatjes geprikt waren die met een heldere lamp in het midden als sterren op een koepel geprojecteerd werden. Er was ver-

der een voorziening voor de dagelijkse beweging, maar de positie van de planeten en de poolshoogte moest men van tevoren met de hand instellen. Erg primitief, maar succesvol.

Zulke omgekeerde 'gaatjescamera's' zijn natuurlijk veel eenvoudiger te maken en dus goedkoper. Maar de beelden zijn vrij lichtzwak en om dat enigzins op te heffen, moeten de gaatjes nogal groot worden, waardoor de sterren meer als schijfjes verschijnen; kortom alleen bruikbaar voor kleine koepels. Verder kunnen ook alleen de helderste sterren, tot magnitude 4,5 meegenomen worden. Zo'n Spitz planetarium is dus meer voor het onderwijs: het verschaffen van ruimtelijk inzicht aan leerlingen in zulke lastige zaken als hemelcoördinaten. Later kwamen er geavanceerdere modellen, waar ook de planeetbewegingen aan toegevoegd waren. En om de helderste sterren niet als zulke overdreven grote vlekjes af te beelden, werden de gaatjes van de sterren helderder dan magnitude 2 van lensjes voorzien.

In 1963 kwam de beroemde Spitz A-3-P projector uit; dat werd zo'n succes dat er daarvan nu wel 1000 zijn in Amerika. Hij heeft het uiterlijk van een misvormde halter, enigzins het idee van het Zeiss model I. De sterbol zit aan het ene eind, de planeetkooien vormen het andere eind. Daardoor kan een aantal sterren rond de zuidpool niet getoond worden. De grensmagnitude is opgevoerd tot 5 (ongeveer duizend sterren), maar de sterren worden (behalve de helderste) nog steeds door gaatjes geprojecteerd. De planeetprojectoren zijn vast opgesteld en ronddraaiende spiegels aan de buitenkant van de kooien doen de planeten langs de hemel bewegen. Ook hebben de projectoren sluiters. Andere vereenvoudigingen zijn bijv. het achterwege laten van de koppeling jaarbeweging-precessie en het in eenvoudige cirkelbanen laten rondbewegen van de planeten. Daardoor is het gewicht tot 70 kg beperkt gebleven (zonder voetsteun). En dat alles bij elkaar samen met de lage prijs, maakt het niet verwonderlijk dat de A-3-P zo populair is.

Iets geavanceerder is het Spitz ISTP model, dat een grensmagnitude 6,0 heeft (3500 sterren) en om alle sterren te kunnen laten zien weer de typische haltervorm heeft. Het bijzondere is dat de projector azimuthaal is opgesteld en om drie loodrecht op elkaar staande assen draaibaar is. Zo zijn alle bewegingen uit te voeren en maakt het voor de computer weinig uit of men nu de Poolster of Arcturus als het draaipunt aan de hemel wil hebben.

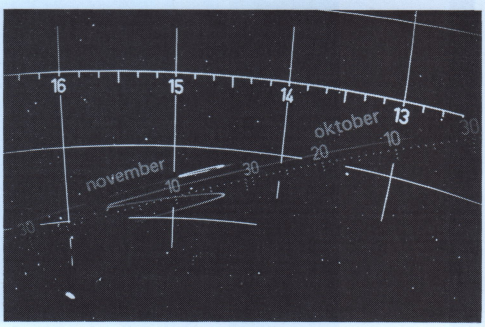


Geheel links: Omstreeks het jaar 2832 voor Chr. was Thuban in de Draak de noordelijke poolster. In die tijd draaiden in de loop der nacht de sterren aldus om de noordpool heen. Let op de Grote en Kleine Beer.

Midden: In het jaar 2102 na Chr. zal onze poolster het dichtst bij de noordpool staan. Dit geeft het verloop van de nacht aan, zoals hij tegenwoordig plaats vindt. Let weer op de Grote en de Kleine Beer.

Links: Ook op het zuidelijke halfrond is de precessie actief, maar dan net de andere kant op. Nu is er geen heldere zuidpoolster, maar in het jaar 8000 na Chr. zal een van de sterren van het Valse Kruis (ι- en ε- Carinae en δ- en $\varkappa$- Velorum), namelijk de eerst genoemde op de zuidpool staan. 1000 jaar later zal dat δ-Vel zijn.

Onder: Hemelse koördinaat netten, equator en ecliptica zijn alle op de koepel te projecteren. Planeten bewegen in lusvormige kronkels ongeveer langs de ecliptica.

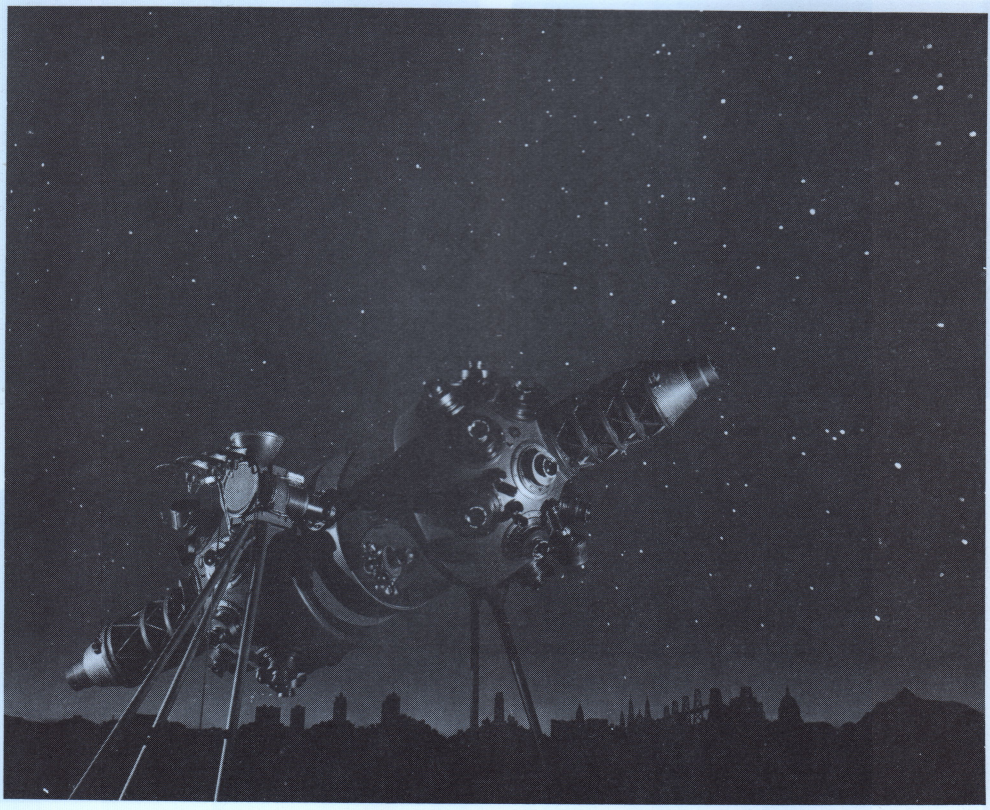


De nieuwste Spitz is de STS (Space Transit Simulator), een enorme bol die wel 12 000 sterren (tot magn. 7) kan projecteren, maar nog steeds door gaatjes. Een ideaal instrument voor de ruimtetheaters, omdat sterren worden afgebeeld die vanaf de aarde niet met het blote oog te zien zijn, maar wel vanuit de ruimte.

In San Francisco heeft men een planetarium naar eigen ontwerp, genoemd naar Morrison, de belangrijkste man achter de constructie. Bij dit planetarium bevinden de sterren bollen zich nabij het centrale gedeelte en de planeetprojectoren aan de buitenkant (dus tegengesteld aan het Zeiss ontwerp).Het heeft wel iets weg van de Goto ontwerpen (zie verderop).

De gebroeders Korkosz maakten een eigen ontwerp voor het Hayden planetarium in Boston. In 1969 (na 13 jaar) hebben ze daar toch echter maar een Zeiss VI aangeschaft. Het Korkosz planetarium had het uiterlijk van een halter, met acht grote 'pukkels', vier noord en vier zuid, rondom de halteras. De vier grote bollen, aan het noordelijke en zuidelijke uiteinde, projecteerden de 88 helderste sterren met afzonderlijke projectoren (1000 W lamp). Twee paar rond het midden van de halter zorgden met behulp van sterplaten voor de sterren met magnitude 3 en 4 (500 W lamp). En de andere twee paar deden de zwakste sterren (250 W lamp). De planeten zouden later nog wel worden toegevoegd, maar dat is er blijkbaar nooit van gekomen.

Minolta en Goto zijn Japanse merken: de laatste werkte in de USA samen met Viewtex. Typisch Japans is dat ze in eerste instantie alles copiëren, de Minolta projector ziet er in eerste instantie dan ook uit als een Zeiss halter. Maar ook typisch Japans is, dat ze daarna hun eigen weg gaan. Goto maakt nu planetaria in allerlei vormen en maten: L-series (large), M-series (medium). Bij de bestelling kan men evenals bij Zeiss bijna een wensenlijstje invullen met onderdelen die toegevoegd of weggelaten moeten worden, naargelang de wensen het ene of



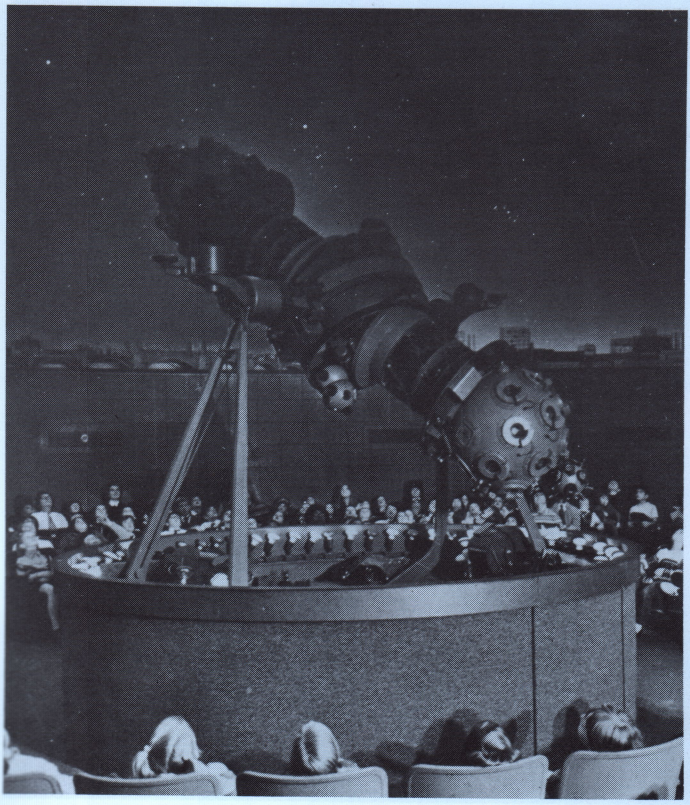
het budget het andere toelaat. De typische Goto projector heeft geen haltervorm, maar juist het omgekeerde. De sterbollen zitten bij het centrum en de planeetkooien zitten er als sprieten bovenop.

Ook de Oostduitse optische industrie in Jena – waar de bakermat van het vooroorlogse Zeiss gevestigd was – vervaardigt planetaria op basis van hetzelfde vooroorlogse model waaruit de firma Zeiss (Oberkochen) zijn planetaria heeft ontwikkeld. Beide maatschappijen werken helemaal los van elkaar en ofschoon er ooit veel dingen gemeenschappelijk ontwikkeld werden, zijn er thans de nodige verschillen: aan bijv. model VI zijn ze in de DDR nog niet toe. Zeiss (Oberkochen) vervaardigt projectoren die ook tot de allergrootste koepeldiameters toe (20 tot 24 meter) haarscherpe sterbeelden leveren. Dit is de reden dat men zelfs in het Verre Oosten meestal Zeiss projectoren kiest: zowel Nagoya (Japan) alsook Hongkong, Singapore en Bangkok.

Extra projectoren

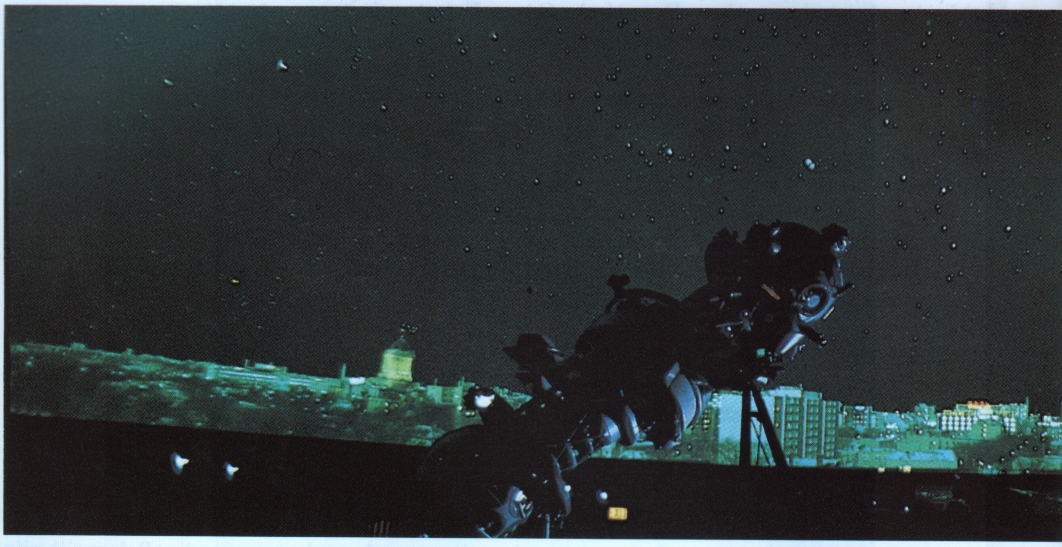
Een planetarium dat het alleen maar met het centrale apparaat moet doen, heeft de mensen tegenwoordig niet voldoende meer te bieden. Er komt meer bij kijken, dan alleen een presentator die aan de hand van een lichtend pijltje allerlei dingen aan de hemel aanwijst en daarbij wat vertelt. Niet alleen wit licht, voor normaal gebruik, maar ook gekleurd licht is nodig. Blauw om een heldere daghemel te creëren, of juist rood voor de stoffige lucht van Mars, groen voor een exotisch tintje en geel voor de helse atmosfeer van Venus. Diverse diaprojectoren zijn continu in gebruik, met zoomlenzen om als het ware op een planeet of dubbelster af te stevenen en deze dan steeds gedetailleerder te kunnen zien.

Maar voor een aantal bijzondere effecten zijn speciale projectoren nodig. Belangrijk zijn de panoramaprojectoren, die langs de horizon een willekeurig landschap kunnen toveren. De



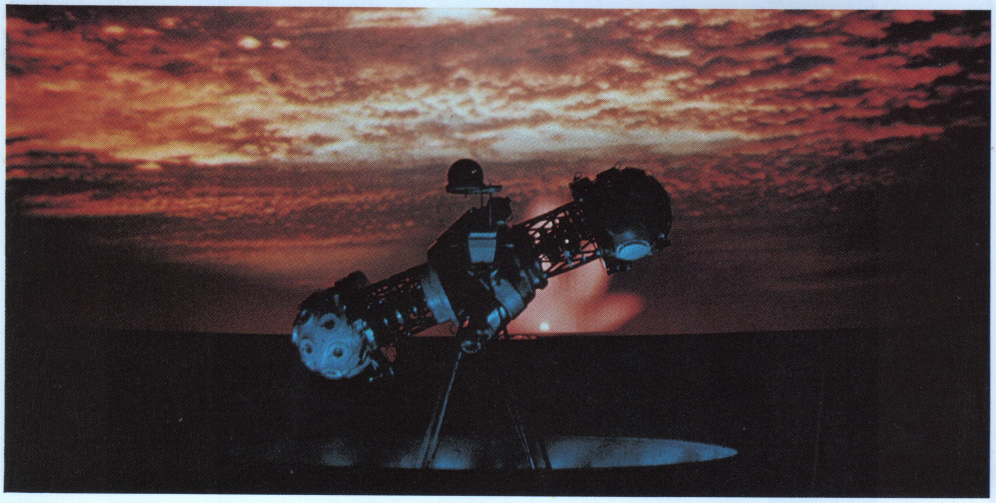
Geheel links: Het Morrison planetatium in San Francisco. De omgekeerde haltervorm is opvallend. De sterbollen zitten in het midden, terwijl de planeetkooien aan de buitenkant van het apparaat zijn ondergebracht.

Links: Het Hayden planetarium in New York, waar sinds september 1969 een model VI projector in een 22,8 m diameter grote zaal staat. Voor die tijd stond daar een planetarium, ontworpen door de gebroeders Korkosz. Dit planetarium had ook een haltervorm, met totaal acht grote pukkels als 'bollen' aan de halter.



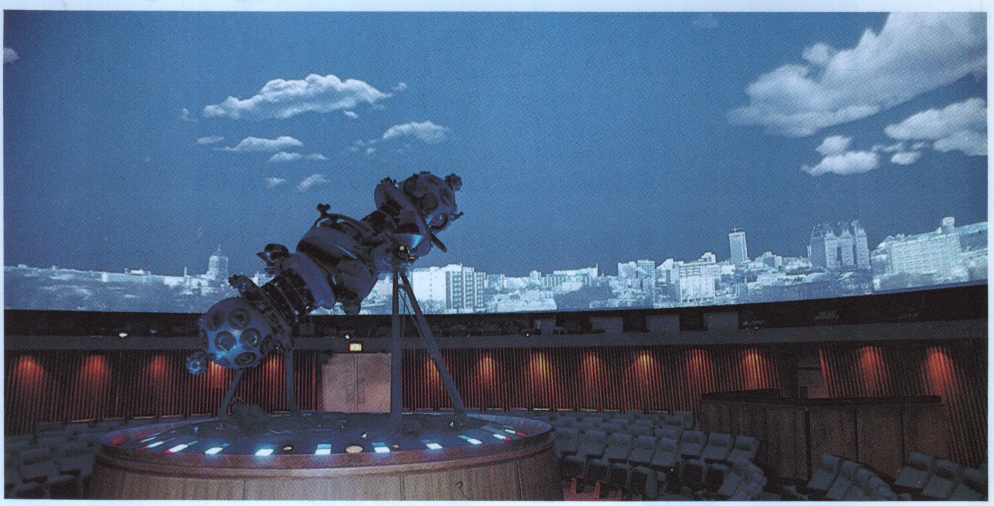
skyline van een stad kan geprojecteerd worden, zodat je het idee hebt dat je een stad overdag of 's nachts nadert. Of je kunt de sterrenhemel vanaf de maan bekijken of vanuit de woestijn of de Antarctische ijsvlakten. Meteoren kunnen ook met een projector getoond worden. Er zijn ook gewone diaprojectoren, waar alleen maar een dia continu ronddraait; met een geschikte dia geeft dat toch een goed beeld van bijv. dubbelsterren-systeem, of een roterende planeet, of een melkwegstelsel.

Voor bliksems is er natuurlijk een flitsbuis en wolken worden gemaakt met een speciale bewegende projector. Door de lens rond te draaien waaien de wolken weg of juist naar ons toe (zie de foto onder in het planetarium van Rochester). Een aantal planetaria is juist op ons weer gespecialiseerd; zij vormen dan ook een atmosferium. Met een filmprojector en een extreme groothoeklens, die de hele hemel beslaat, zijn talloze wolkenvormen nauwkeurig na te bootsen.



Bijzonder fraai is ook de aardbolprojector van Zeiss. De aard'bol' is in feite een vlakke film, maar door een speciale lenzencombinatie wordt het midden van de film groot uitgebeeld en de randen juist klein, waardoor een zeersuggestief bolheidseffect ontstaat, ook al wordt de film tegen een holle koepel geprojecteerd. Door de film langzaam voorbij te laten schuiven, draait de aardbol langzaam rond, alsof je er met een satelliet langs vliegt, wat het bolheidseffect alleen maar versterkt.

Links en onder: In het planetarium van Winnipeg in de Canadese provincie Manitoba, maakt men gebruik van panoramaprojectoren om de skyline van een stad, zoals je dat overdag en 's avonds zou kunnen zien, te projecteren.



Links: Een bewolkte zonsondergang in het Strasenburgh planetarium in Rochester, New York. De projectie van wolken in een planetarium wordt gerealiseerd met een speciale bewegende projector.

Toekomstverwachtingen

Een planetarium heeft in grote lijnen twee doelen. Enerzijds is het een onderwijsinstelling, anderzijds een theater. Wat betreft het eerste moet men denken aan het leren kennen van de sterrenhemel en de bewegingen van de hemellichamen. Wat zijn sterren? Waarom bewegen planeten in lusfiguren? Dat was trouwens ook het eerste doel van het planetarium. Maar het tweede is tegenwoordig niet minder

belangrijk. Men komt behalve om er wat te leren, ook om er te genieten. Een planetarium trekt heel wat mensen; vooral de planetaria die wat langer bestaan en wijd en zijd bekend zijn, kunnen op tienduizenden bezoekers per maand rekenen. Het London Planetarium trekt meer dan tweeduizend bezoekers per dag, en Jakarta doet daar weinig voor onder.

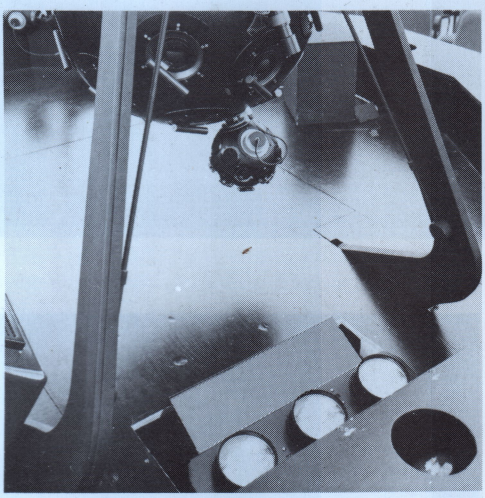
Er is een sterke tendens in Amerika naar planetaria en ruimtetheaters met steeds meer spectaculaire effecten en show-elementen. Het summum dat hier bereikt kan worden is het ruimtetheater dat in Amerika werd ontwikkeld en waarvan er in de toekomst ook één in Den Haag zal verrijzen. De sterren verdwijnen hier naar de achtergrond, men maakt reizen door de ruimte. In enorme panorama's verschijnen planeten en melkwegstelsels waar je rakelings langs lijkt te gaan. De hier gepresenteerde shows zijn zeer indrukwekkend en trekken veel publiek. Het leer-element is hier enigszins naar de achtergrond verdwenen en het show-element domineert.

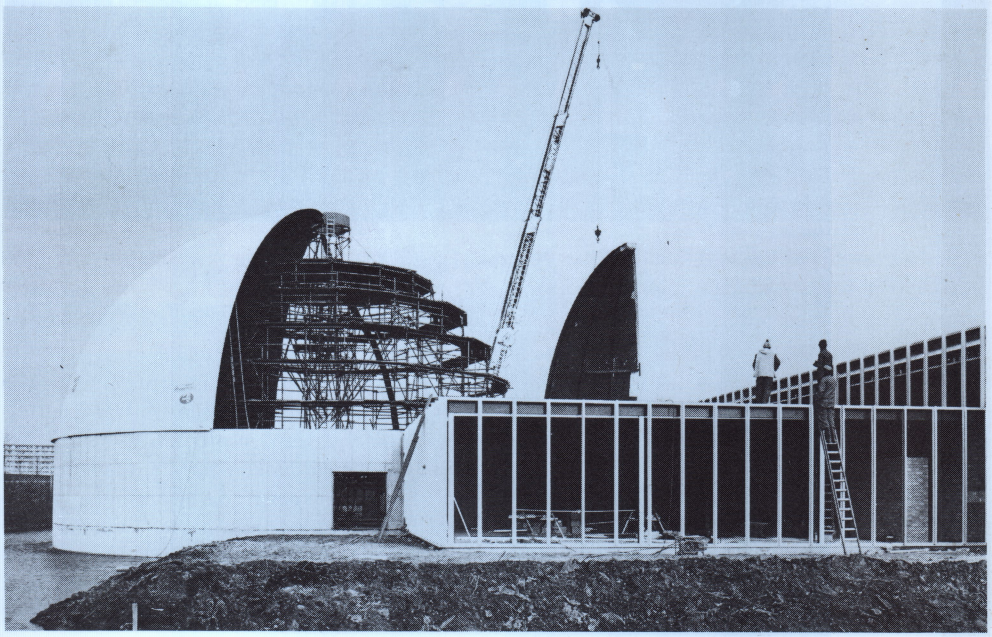
Heeft het klassieke planetarium hiernaast nog bestaansrecht? Ik meen dat dit zeker het geval is. Vooral belangrijk is hier: de echte presentator, in levende lijve temidden van zijn publiek. Een echte astronoom, die een boeiend

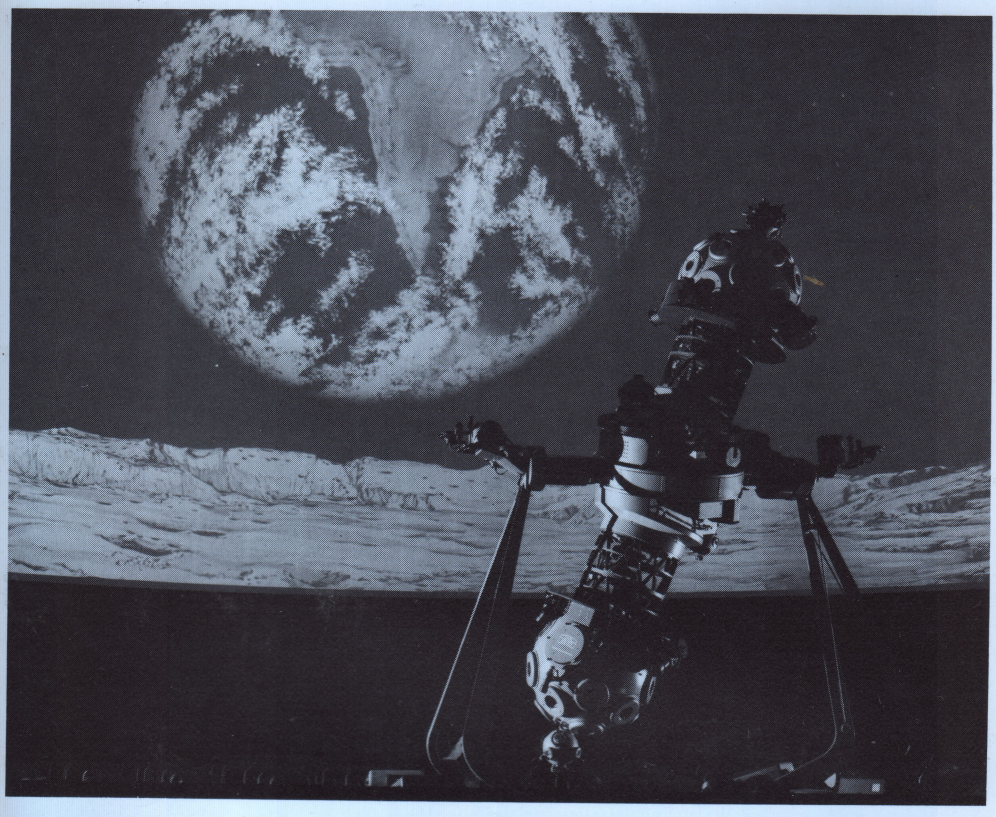
Onder: Het planetarium in Amsterdam heeft een unieke attractie, die nog maar heel weinig andere planetaria hebben: een videoprojector (tussen de poten) waarmee bewegende beelden geprojecteerd kunnen worden.

Geheel onder: De bouw van het Amsterdamse planetarium in 1981; op de foto de plaatsing van een segment van de koepel.

Rechts: De sterrenhemel in het planetarium vanaf de maan, met schitterend maanpanorama en de grote Zeiss-aardbol, die langzaam lijkt rond te draaien.







verhaal vertelt, inspeelt op vragen uit het publiek, op verzoek bijzondere effecten of verschijnselen nog eens extra aandacht geeft. Die ook op nieuwe ontdekkingen of een nieuwe Space Shuttle vlucht direct inspeelt.

Klassieke planetaria, met een paar dozijn van de genoemde speciale show-effecten, en een echte presentator, blijken ook in deze tijd springlevend. Het vier jaar geleden in Stuttgart geopende planetarium trekt nu al meer dan 200 000 bezoekers per jaar en moet zelfs dikwijls 'neen' verkopen. Hetzelfde geldt voor de reeds genoemde planetaria te Londen, Jakarta en ook voor Hamburg, Moskou en vele anderen.

Ik meen daarom dat de meer klassieke planetaria – waartoe ook het Amsterdamse behoort – hun bestaansrecht zeer ruimschoots bewezen hebben en ook in de toekomst hun eigen onvervangbare plaats zullen behouden zelfs naast de meest spectaculaire film-achtige shows.

Het laatste hoofdstuk 'Toekomstverwachtingen' is van de hand van prof. dr. E.P.J. van den Heuvel, directeur-ad-interim van het Planetarium Amsterdam.

Literatuur

Hagar, Charles., (1980). *Window to the universe.* Carl Zeiss, Oberkochen.
Sky and Telescope, diverse nummers, (1950-1980).

Bronvermelding illustraties

Carl Zeiss, Oberkochen: pag. 566, 569, 572, 576-577 boven, 580, 586-587, 587.
Museum Boerhaave, Leiden: pag. 568 boven.
Foto-archief Sijthoff Pers, Den Haag: pag. 568 onder.
Derby Art Gallery, The Strand, Derby: pag. 570.
Zeiss Planetarium Amsterdam: pag. 571, 573, 574, 576, 578, 579, 581 midden, 582, 583.
Zeiss Nederland B.V., Weesp: pag. 574 boven, 581 boven, 586 onder, 588 onder, 589.
Will Tirion/Stichting De Koepel, Utrecht: pag. 574-575.
Morrison Planetarium, California Academy of Sciences, San Francisco, Ca: pag. 584.
Charles Hayden Planetarium, Boston, Mass: pag. 585.
Sony, Brandsteder Electronics B.V., Badhoevedorp: pag. 588 boven.

SOCIAAL LEERGEDRAG BIJ CHIMPANSEES

De lange weg tot volwassenheid

O. M. J. Adang
Burgers' Dierenpark Arnhem

Net als andere mensapen – en mensen – maken chinpanseekinderen een lange ontwikkelingsfase door voordat ze volwassen zijn. Een lange ontwikkeling lijkt belangrijk voor het opdoen van ervaringen en het verwerven van allerlei vaardigheden, vooral in sociaal opzicht. Volwassen chimpansees vertonen complex sociaal gedrag en hanteren bepaalde strategieën om hun doel te bereiken. Ze onderhandelen met elkaar en vormen coalities. Het is nog onduidelijk hoe kinderen zich dergelijke vaardigheden eigen maken en wat daarbij precies de rol is van spel en kinderlijke agressie. In Burgers' Dierenpark in Arnhem bevindt zich al jarenlang een grote chimpanseekolonie. Deze unieke groep bestaat momenteel uit 26 dieren. Dertien daarvan, in leeftijd variërend van één tot negen jaar, zijn in de groep geboren en opgegroeid. Het al jaren lopende gedragsonderzoek in Arnhem concentreert zich momenteel op de ontwikkeling van deze kinderen. Het onderzoek is uitsluitend observationeel, dus zonder experimentele ingrepen.

Veilig in moeders armen doen jonge chimpansees hun eerste ervaringen op in het complexe sociale web dat bestaat in een groep van deze hoog-intelligente dieren. Moeder krijst hier mee in een ruzie tussen twee anderen, waarbij ze partij trekt voor één van beiden.

Chimpansees in de natuur

De chimpansee heeft zijn woongebied in of nabij de tropische regenwouden van Afrika. Dank zij het onderzoek van Jane Goodall en medewerkers en van Japanse primatologen bestaat er een goed inzicht in de natuurlijke leefwijze van deze nog steeds bedreigde mensaap. Chimpansees vormen gemeenschappen die een gebied van vele vierkante km doorkruisen. Binnen die gemeenschappen vormen zich kleinere subgroepen, die voortdurend van samenstelling wisselen. Vrouwen met van hen afhankelijke kinderen brengen het grootste deel van hun tijd door in kleinere gebiedjes, gescheiden van andere vrouwen. Er bestaan geen vaste man-vrouw relaties.

Volwassen mannen trekken het hele gemeenschapsgebied rond, alleen, samen met andere volwassen mannen of in gemengde groepen. Groepjes volwassen mannen patrouilleren zo nu en dan langs de grenzen van het gebied. Ontmoeten 'patrouilles' van verschillende nabuurgemeenschappen elkaar dan barst er vaak een oorverdovende imponeervoorstelling los. Vervolgens trekt iedereen zich weer terug.

Tussen volwassen mannen bestaat een duidelijke hiërarchie en mannen lijken erop gebrand te zijn een hoge plaats in de rangorde te verwerven. De meest dominante man (*alfaman*) kan zich echter nooit als een alleenheerser gedragen. Mannen blijven hun hele leven in de gemeenschap waarin ze geboren zijn. Vrouwen kunnen wel overstappen naar een andere gemeenschap.

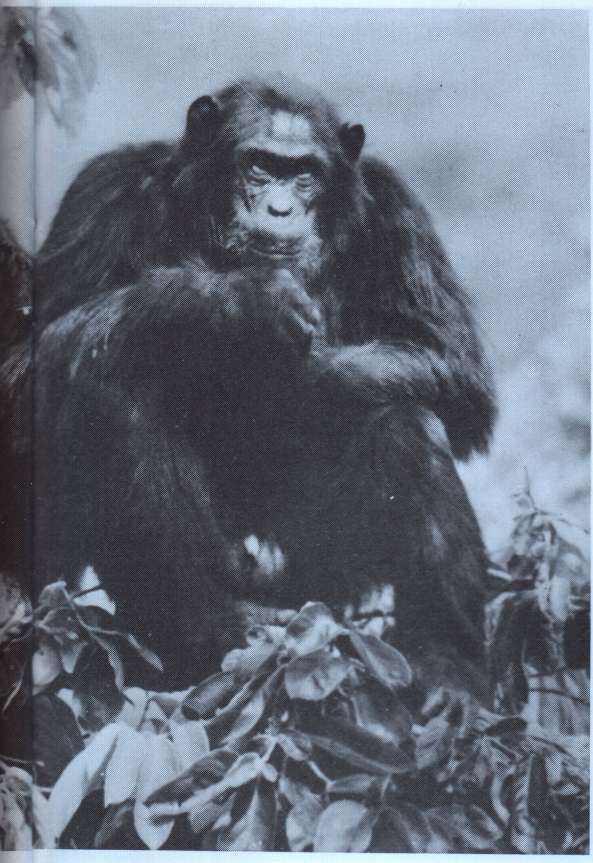
Het grootste deel van een chimpanseedag wordt gevuld met het zoeken naar voedsel. Dat voedsel, voornamelijk fruit, is in ruime mate voorhanden, maar erg verspreid. Iedere avond maken chimpansees in een boom een vers slaapnest waarin ze de nacht doorbrengen.

De kolonie in Arnhem

Chimpansees afkomstig uit verschillende Europese dierentuinen zijn in 1971 bij elkaar gezet op een groot buitenterrein in de dierentuin te Arnhem. Het terrein is bijna 1 ha groot en is omgeven door een gracht. Chimpansees kunnen uit zichzelf niet zwemmen. Op het terrein staan veel bomen en klauterstellages. De meeste bomen zijn afgeschermd met schrikdraad zodat de apen ze niet kunnen vernielen.

Door de grootte en de gevarieerdheid van het terrein kunnen de dieren zich aan elkaars gezelschap onttrekken, als ze dat willen. Ook zijn er talloze mogelijkheden om te spelen.

Iedere avond gaan de chimpansees in kleine groepjes hun nachthokken in. Met het dagelijkse verse stro dat daarin gelegd wordt kunnen ze, net als in de natuur, hun eigen slaapnest maken. In de nachthokken krijgen de apen, ieder voor zich, 's morgens en 's avonds hun eten van de verzorgster. Op het menu staan: brood, fruit, groente, melk en geperste voerbrokken. Door het voeren buiten de groep ontstaat er geen voedselcompetitie tussen de dieren. Dat is heel belangrijk, want het is bekend dat de spanningen hoog oplopen als chimpansees groepsgewijs hun eten krijgen. Om te voorkomen dat de sociale structuur ontwricht raakt, wordt daarom het publiek (en de pinda's!) op afstand gehouden.



Ondanks het feit dat de chimpansees niet zelf hun voedsel hoeven te zoeken, brengen ze hun dagen toch gedeeltelijk fouragerend door. Gras, eikels, beukenootjes, paddestoelen of gevallen bladeren worden met graagte geconsumeerd. Desondanks hebben de dieren veel meer 'vrije tijd' dan hun soortgenoten in Afrika. Die vrije tijd wordt vooral spelend en vlooiend doorgebracht. Ruzies zijn relatief zeldzame gebeurtenissen.

Dank zij een groot en gevarieerd terrein en een doordacht voedersysteem is dit een stabiele chimpanseegroep van natuurlijke samenstelling. Deze groep, uniek door het feit dat er meerdere volwassen mannen in leven, vertoont dan ook in essentie volkomen natuurlijk chimpanseegedrag. Het grootste verschil met chimpanseegroepen in de natuur zit eigenlijk in de omstandigheid dat in Arnhem de hele groep voortdurend bij elkaar is. De dieren kunnen zich weliswaar aan elkaar onttrekken, maar ze zijn steeds binnen gehoorsafstand van elkaar. Ze kunnen elkaar dus altijd in de gaten houden en zich met elkaar bemoeien.

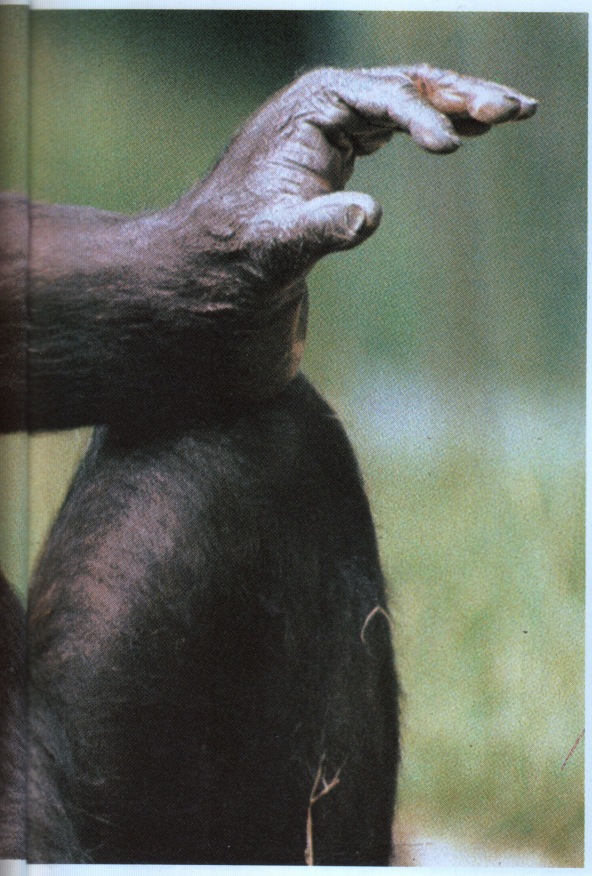
Links: Apen in het wild leiden een zwervend bestaan in kleine groepjes in het Afrikaanse regenwoud.

Onder: Hier verblijven de besproken chimpansees. Men heeft getracht het zo natuurlijk mogelijk te maken.

Voortplanting

Net als hun menselijke sexegenoten hebben chimpanseevrouwen een menstruele cyclus. De cyclus duurt ongeveer 35 dagen. Gedurende circa 10 dagen per cyclus zijn chimpanseevrouwen vruchtbaar: hun achterwerk is dan sterk opgezwollen en roze. Uitsluitend gedurende deze *oestrus*-periode waarin de ovulatie plaatsvindt wordt er gepaard. In principe kan iedere volwassen man met een vruchtbare vrouw paren, mits zij op zijn avances ingaat. In principe, want de alfa-man tracht paringen van andere mannen te verhinderen. Dat lukt hem echter nooit volledig. Zowel chimpansees als waarnemers kunnen niet weten wie de vader van welke kinderen is. Gezinnen zoals mensen die kennen bestaan bij chimpansees niet.

In de begingroep in Arnhem zaten meerdere volwassen vrouwen, die allemaal regelmatig in



oestrus kwamen. Zodra er kinderen geboren werden ontstond er een probleem. Veel moeders wisten niet hoe ze met hun baby's om moesten gaan. Verschillende baby's stierven of moesten bij de moeder weggehaald worden. Adequaat moederschap is geen vanzelfsprekende zaak voor chimpansees, maar moet geleerd worden door omgang met jongen en hun moeders. Chimpanseevrouwen die zonder soortgenoten zijn opgegroeid missen dat.

Kinderloze vrouwen hebben in het algemeen veel belangstelling voor kleintjes. Ze proberen baby's aan te raken of zelfs mee te dragen. De moeder weert dergelijke contacten zoveel mogelijk af. Pas als haar kind ongeveer een jaar oud is mogen haar beste vriendinnen het kind vlooien of ermee spelen. Soms resulteert dat in een uitzonderlijk sterke band tussen een vrouw en het kind. Zo'n vrouw wordt *tante* genoemd, ook al is zij geen familie van het kind. Het kind heeft er een soort tweede moeder bij, iemand die het knuffelt of beschermt in bedreigende situaties. En 'tante' doet praktische ervaring op met kleine kinderen.

Na een dergelijke leerschool ontpopten vrijwel alle vrouwen in Arnhem zich als goede tot zeer goede moeders. De metamorfose van Spin, één van de vrouwen in de kolonie, was opmerkelijk. Zij negeerde haar pasgeboren kinderen volkomen. Er zat niets anders op dan

Linksboven: Chimpansees moeten, net als mensen, leren om met baby's om te gaan. Het vrouwtje Spin (Spin vanwege haar lange armen) had in haar jeugd dit soort ervaring moeten missen, daar ze niet in een chimpanseegroep, waar altijd wel moeders met kinderen aanwezig zijn, opgegroeid was. Pas toen ze in de kolonie ervaring opgedaan had met het kind van een andere vrouw, was ze in staat om haar eigen baby's op te voeden. Ze werd een goede moeder. Hier peutert ze ontspannen haar eigen kind in het oor.

Geheel links en links: De voorstelling die de meeste mensen van een chimpansee hebben, een leuk en speels aapje, is eigenlijk niet correct. Ze is gebaseerd op een jong, zoals het hier afgebeelde meisje van 3 jaar. De volwassen man in de kracht van zijn jaren is voor veel minder mensen een vertrouwd beeld.

Onder: Moeder vlooit haar drinkende kind. In dit geval is het vlooien bedoeld als afleidingsmanoeuvre: het kind wordt gespeend en voortdurend probeert moeder het hoofd van haar kind van de tepel af te draaien. Het van de borst af wennen gebeurt als het kind zo'n vier à vijf jaar oud is, veel later dan bij de mens dus. Pas dan wordt de moeder weer vruchtbaar.

Onder en rechts: Het een half jaar oude kind kan zich geheel zelfstandig aan de moeder vastklemmen. Pas toen het kind enkele weken oud was, waren zijn armen sterk genoeg om zijn eigen gewicht te dragen. Het witte flosje bij het achterwerk is kenmerkend voor kinderen van deze leeftijd en verdwijnt na het derde levensjaar. De foto rechts werd in het Gombwe National Park gemaakt.

haar baby's bij haar weg te halen en met de fles groot te brengen. Zo'n flessekind is verder verloren voor de kolonie. Omstreeks dezelfde tijd dat Spin weer een kind ter wereld bracht, was een andere vrouw in de groep druk doende haar zoon Jonas van de borst af te wennen. Jonas was het daar niet mee eens en wilde blijven drinken. Omdat zijn moeder hem dat niet meer toestond zocht hij zijn heil elders. Jonas drong zich op aan Spin, die immers ook melk had. Er ontstond een sterke band tussen Jonas en Spin. Spin droeg Jonas jarenlang met zich mee, vlooide hem en liet hem drinken. In 1980 raakte Spin opnieuw zwanger en kreeg ze een kind. In tegenstelling tot vroeger accepteerde zij haar baby probleemloos. Meer nog, Spin was een uitstekende moeder. Haar geschiedenis illustreert hoe belangrijk het leven in een sociale groep is voor de ontwikkeling van normaal chimpanseegedrag.

Algemene ontwikkeling

Een chimpanseebaby is voortdurend in contact met zijn moeder. Of moeder nu zit, ligt of loopt, de baby zit aan haar buik geklemd, ondersteund door een hand. Pas als het kind enkele weken oud is heeft het genoeg kracht in zijn armen om zijn eigen gewicht te dragen.

Als een baby honger heeft wordt hij onrustig en gaat bewegen. Moeder zal reageren door hem een beetje te verschuiven. Reflexmatig beweegt het kind zijn hoofd op en neer en zal soms, bij toeval, een tepel in zijn mond krijgen. Het kind begint dan te drinken en wordt rustig. Na verloop van tijd weet moeder waar haar kind rustig van wordt en leert de baby zelf rechtstreeks de tepel en daarmee voedsel te vinden.

Via dergelijke stappen van wederzijdse beïnvloeding raken moeder en kind op elkaar in-

gespeeld. Tegelijkertijd ontwikkelt het kind zich geleidelijk van een afhankelijk wezen tot een volwaardig groepslid. Voor een jong kind vertegenwoordigt moeder alles wat belangrijk is. Moeder geeft niet alleen voedsel, maar ook warmte. Baby's hebben een gebrekkige thermoregulatie en handhaving van lichaamscontact is daarom essentieel.

Moeder betekent ook veiligheid en geborgenheid. Zij beschermt haar kind tegen ieder gevaar en dient als toevluchtsoord. Moeder is natuurlijk ook het grote voorbeeld voor een kind. Aan haar buik doet het kind de eerste ervaringen op en ziet hoe zijn moeder zich gedraagt. Moeder stimuleert de ontwikkeling van haar kind. Wanneer een kind een half jaar oud is kan het bijna kruipen. Juist in die tijd legt een moeder haar kind af en toe een eindje van zich af en laat de kleine naar zich toe kruipen. Na de eerste wankele schreden zal het kind langzaam maar zeker zelf het initiatief gaan nemen en op ontdekkingstocht gaan.

Als het kind ouder dan een jaar is zal het steeds meer te maken krijgen met de overige groepsleden, zowel kinderen als volwassenen. Een groot deel van de dag brengt een kind spelend door, waarbij moeder er aanvankelijk streng op toeziet dat haar kroost niet ruw behandeld wordt. Gebeurt dat toch, dan grijpt zij onmiddellijk in en neemt haar kind bij zich of straft de boosdoener.

Een belangrijke mijlpaal in de ontwikkeling wordt bereikt als het kind een jaar of vier à vijf is. Het kind mag dan steeds minder vaak bij zijn moeder drinken; het helpt niet als het hysterisch gaat zitten krijsen. In deze speenperiode wordt moeder weer vruchtbaar. Na enige tijd zal ze een volgend kind krijgen dat al haar aandacht opeist. Het oudere kind zal zich dan veel zelfstandiger moeten gedragen.

Gaandeweg accepteren de overige groepsleden steeds minder van het opgroeiende kind. Deze ontwikkeling versterkt zich bij het begin van de pubertijd op 9-jarige leeftijd. De lichamelijke volwassenheid wordt gecompleteerd met sociale volwassenheid op 15-jarige leeftijd. Dan pas maakt het voormalige kind deel uit van het volwassen groepsleven. Al het geleerde moet dan in praktijk gebracht worden, zonder dat moeder steeds bijspringt. Maar de speciale band tussen een moeder en haar kind blijft levenslang bestaan.

Boven: Niet alle chimpanseemoeders zijn even zuinig op hun kinderen. De vrouw links draagt haar drie maanden oude (en protesterende) zoon over aan haar beste vriendin. Normaal gesproken staan vrouwen hun kinderen aan niemand af voordat ze minimaal zes maanden oud zijn.

Rechtsboven: Onderdanig groetend wijkt het kind rechts voor de leider, die met overeind staande haren bluffend nadert. Het kind heeft dus al geleerd hoe het zich in zo'n situatie dient te gedragen. Imponeergedrag is een van de manieren om de sociale verhouding tussen twee dieren vast te leggen of te bevestigen. Het duurt zo'n vijftien jaar voor een kind het volwassen leven aan kan. Bij de gecivilliseerde mens is dat veel later, maar bij onze voorouders moet dat ongeveer hetzelfde geweest zijn.

Volwassen groepsleven

Pas als dieren volwassen zijn komt het er echt op aan. Volwassen dieren moeten aan voedsel zien te komen, verdedigen het gemeenschapsgebied tegen nabuurgemeenschappen, vrouwen brengen kinderen groot, mannen proberen een hoge status te verwerven en te paren met vruchtbare vrouwen. Het uiteindelijke doel van al dergelijk gedrag is steeds hetzelfde: het voortbrengen van nakomelingen en

het doorgeven van eigen genetisch materiaal aan de volgende generatie. Hiermee is *niet* gezegd dat chimpansees dat doel bewust nastreven, maar alleen dat zij zich zodanig gedragen dat als gevolg van dat gedrag de eigen reproduktiekans verhoogd wordt.

Verschillende individuen hebben verschillende belangen en er kan competitie ontstaan om zaken als voedsel en sexuele partners. Aan de andere kant hebben sociaal levende dieren elkaar nodig om gezamenlijk predatoren of vijandige soortgenoten te verjagen. Behalve tegenstellingen zijn er dus ook parallelle belangen. Een voortdurende competitie en escalatie zou de samenwerking belemmeren, iets waar de hele groep onder zou lijden. Bovendien lopen *beide* antagonisten bij een eventueel gevecht risico's.

Chimpansees (maar ook andere dieren) zullen een balans moeten vinden tussen samenwerking en competitie. Daarbij zullen ze middelen moeten hanteren om persoonlijke belangen zo goed mogelijk te behartigen, zonder dat belangentegenstellingen tussen individuen escaleren tot echte gevechten. Chimpansees zijn erg ver gevorderd in het handhaven van zo'n balans en in het hanteren van strategieën om hun eigen reproduktiekans te vergroten, zonder dat de sociale balans in de groep ontwricht raakt.

De afgelopen jaren is het inzicht in het hanteren van *sociale strategieën* door chimpansees aanmerkelijk gegroeid. Conflicten tussen chimpansees zijn relatief zeldzame gebeurtenissen. In veel situaties die aanleiding zouden

kunnen geven tot ruzie wordt escalatie voorkomen. Dieren ontwijken elkaar of spreiden een zekere tolerantie ten toon, bijvoorbeeld ten opzichte van jonge kinderen. In tijden van verhoogde spanning is er een duidelijk merkbare toename van vriendschappelijk gedrag, wat een stabiliserende werking heeft.

In de plaats van rechtuit-agressie vertonen chimpansees vaak een geritualiseerde vorm van agressie: bluf- of *imponeergedrag*. Vooral volwassen mannen bluffen vaak, waarop de overige groepsleden reageren met geritualiseerde onderdanigheidsbetuigingen. Met behulp van de 'onderdanige begroetingen' kan een duidelijke rangorde opgesteld worden, omdat tussen iedere twee dieren er altijd maar één is die de ander 'groet'. Tussen volwassen vrouwen is deze rangorde over de jaren heen zeer stabiel, tussen volwassen mannen treden dominantiewisselingen op.

Indien er ondanks alles ruzies ontstaan, wordt er maar zelden gevochten. Behendigheid speelt een grotere rol dan kracht en bij de zeldzame gevallen van bijten wordt er niet dóórgebeten. Opvallend is dat derden zich vaak actief met een conflict bemoeien en één van de opponenten steunen. Zoals blijkt uit diverse vormen van steunwervend en sussend gedrag houden chimpansees die in een conflict verzeild zijn geraakt terdege rekening met mogelijke bemoeienis van derden.

Sociale handigheid tijdens conflicten, bijv. om steun te krijgen, is van groot belang. Nog belangrijker is sociale handigheid op langere termijn. Geen enkele man kan bijv. uitsluitend op eigen kracht een hoge positie verwerven of behouden. Zelfs de alfa-man moet terdege rekening houden met de rest van de groep, wil hij zijn positie handhaven. Hij heeft steun nodig van een andere volwassen man. Ook kan

Links: Chimpanseekinderen moeten heel wat leren eer ze zich sociaal aangepast kunnen gedragen. Dat doen ze door kijken, door conditionering (beloning en straf) en door exploratie. Tijdens spel exploreren ze vooral zichzelf en hun mogelijkheden. Een vorm van sociale exploratie is het pesten, door met zand naar elkaar te gooien. Zelf springt het kind al vast achteruit, anticiperend op een agressieve reactie van beide vrouwen. Bij pesten schijnt het er vooral om te doen te zijn om reacties uit te lokken.

Onder: Een typische ruzie. Met ontblote tanden krijsen een volwassen vrouw en een volwassen man tegen elkaar zonder elkaar aan te raken. Een van de dingen die een volwassen chimpansee moet kunnen is een ruzie niet uit de hand te laten lopen.

hij deze steun verwerven bij de volwassen vrouwen.

Chimpanseemannen sluiten coalities om een hoge positie te verkrijgen of te behouden. Desnoods wisselen ze van coalitiepartner. Daartussendoor speelt een strijd om sexuele privileges. Normaal gesproken neemt de alfa-man de meeste paringen voor zijn rekening, maar zijn coalitiepartner heeft ook 'recht' op een aantal paringen. Dergelijke processen en de ermee gepaard gaande onderhandelingen waren voor Frans de Waal aanleiding om te spreken van 'chimpanseepolitiek'.

Leren

Chimpanseekinderen moeten zich gedurende hun jeugd een complex geheel van gedragingen, vaardigheden, inzichten en strategieën eigen maken. Dat is essentieel om later als volwassene goed te kunnen functioneren. Allerlei typische chimpanseegedragingen ontwikkelen zich als het ware 'vanzelf'. Jonge chimpansees hoeven niet te leren hoe te krijsen of te bluffen. Via een rijpingsproces kunnen ze dat op een gegeven moment gewoon.

Wat wel geleerd moet worden is het *gebruik* maken van al die gedragingen. In wat voor situaties sorteert welk gedrag het meeste effect? Hoe moeten gedragingen van anderen geïnterpreteerd worden? Al dat soort dingen moet een chimpansee weten. Natuurlijk leren kinderen veel door te *kijken*. Kijken naar wat moeder doet, naar wat haar overkomt en naar haar reacties. Kijken naar wat anderen doen en wat daarvan de effecten zijn. Later kunnen kinderen dan de volwassenen imiteren.

Kinderen worden ook *geconditioneerd* om bepaalde dingen niet of juist wel te doen. Zo kan het onplezierige gevolgen hebben om naar een volwassen man toe te lopen die aan het imponeren is. Door de dagelijkse omgang met soortgenoten zullen dieren onvermijdelijk met belonende en bestraffende gevolgen van hun handelen geconfronteerd worden. Soms onderwijst een moeder haar kinderen heel actief, bijvoorbeeld door een kind dat naar een imponerende man toegaat al bij voorbaat op te pakken.

Kinderen zijn bovendien nieuwsgierig en gaan actief op zoek naar ervaringen. Ze *exploreren* hun omgeving en proberen wat mogelijk is. Kopje-duikelend, huppelend en slingerend verplaatsen de aapjes zich, jagen achter een vogeltje aan of voeren een handstand uit. Met eindeloze variaties worden allerlei bewegingen herhaald. Spelenderwijs bereiden kinderen zich voor op hun latere leven.

Spel

Spel is vooral worstelen en rennen met andere kinderen en soms volwassenen. Kenmerkend voor spel is de losse, ontspannen manier waarop handelingen uitgevoerd worden, bijvoorbeeld al huppelend. Tijdens spel worden ook karakteristieke gezichtsuitdrukkingen of klanken gebruikt. Een bij primaten algemeen voorkomend signaal is het zgn. *spelgezicht* bij het begin van of tijdens het spel. Vaak is dan ook een hard hijgen te horen, vergelijkbaar met het menselijk lachen. Typisch voor spel is ook de wederkerigheid: twee dieren zijn op de-

zelfde manier met elkaar bezig waarbij van rol gewisseld kan worden (bijv. bij achter elkaar aan jagen).

In tegenstelling tot bijvoorbeeld agressief en sexueel gedrag heeft speels gedrag geen duidelijke directe functie. De voordelen van spel liggen in de toekomst, als het dier volwassen is. Dit feit heeft aanleiding gegeven tot allerlei speculaties over de mogelijke functies van spel. Spel zou dienen om dominantierelaties tussen kinderen te vestigen of juist om de sociale samenhang in een groep te bevorderen. Spel zou een algemene flexibiliteit bevorderen, die dieren in staat stelt zich makkelijk aan allerlei situaties aan te passen.

Bij nauwkeurige waarneming en verzameling van gegevens blijken dergelijke veronderstellingen echter allemaal niet te voldoen. Spel kan het beste gezien worden als een oefening voor kinderen, een training van spieren en vechttechnieken, een testen van wat mogelijk is, en een opdoen van allerlei vaardigheden. Hoewel chimpansees zelden vechten, is het van vitaal belang om op momenten dat er gevochten moet worden goed beslagen ten ijs te komen. Oefenen in serieuze situaties zou echter te veel risico dragen.

Sociaal spel biedt tevens de mogelijkheid om op een risicoloze manier informatie te verkrijgen over effecten van handelingen en signalen. De spelpartner biedt immers weerstand en geeft terugkoppeling. Dieren zullen ook alleen spelen als het spel voor beide partners aantrekkelijk is en oefenmogelijkheden creëert.

Pesten

Het gebeurt nogal eens dat kinderen anderen ruw of hinderlijk bejegenen. Merkwaardig genoeg doen ze dat ook ten opzichte van volwassen groepsleden. Kinderen bekogelen volwassen mannen en vrouwen met stokken en stenen, gooien met zand of geven van achteren een klap. Zodra het slachtoffer opspringt maken de kleintjes dat ze wegkomen om even later weer terug te keren en door te gaan. Een bestraffend pak slaag is in sommige gevallen niet afdoende om de kinderen van hun acties te weerhouden.

Het onderzoek in Arnhem richt zich momenteel op dit *pestgedrag*. Kan pesten het beste beschouwd worden als een vorm van spel of als een vorm van agressie of is het iets heel

Boven: Jonge primatenkinderen, ook mensenkinderen en chimpanseekinderen, brengen heel wat tijd door met spelen. Spelenderwijs oefenen ze zo hun spieren, leren vechten en andere vaardigheden, ontdekken hoe anderen reageren. Spel is goed te herkennen aan het erbij horende 'spelgezicht', op deze foto goed te zien.

Geheel links: Worstelen en speels bijten vormen de hoofdingrediënten van spel. Af en toe wordt het stoeispel afgewisseld met een rustpauze, zoals hier. De kinderen vertonen een ontspannen spelgezicht.

Links: Veilig in moeders schoot gezeten speelt deze baby (zes maanden oud) met een wat ouder kind. Ook de baby vertoont spelgezicht.

anders? Systematische waarnemingen van de apenkolonie moeten een antwoord op die vraag geven.

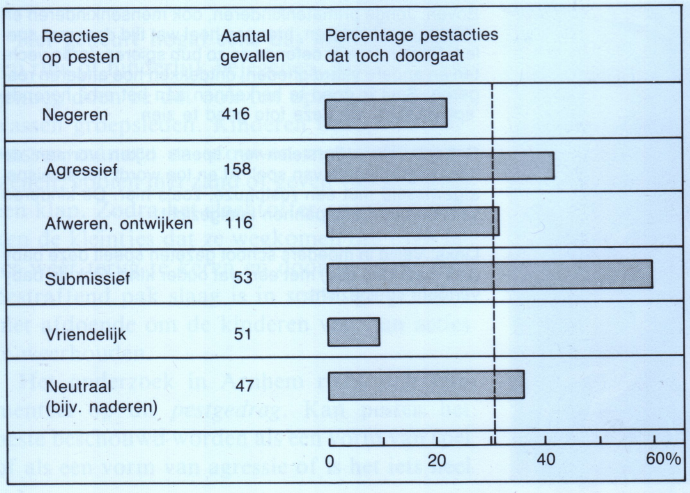
Pestgedrag blijkt er heel anders uit te zien dan spel. Tijdens het pesten zijn er geen spelsignalen, zoals het spelgezicht, zichtbaar. Pestende kinderen zien er bovendien niet ontspannen uit: gespannen als een veer staan ze klaar om weg te springen. Dat is nodig ook, want niet zelden zet het slachtoffer verontwaardigd de achtervolging in. Pesten heeft niets van de vriendschappelijke wederkerigheid van spel.

Bij verschillende apensoorten krijgen kinderen een rang vlak onder die van hun moeder. De afhankelijke rang is gebaseerd op de steun en de dominantiepositie van de moeder. Bij chimpansees is een van de moeder afhankelijke *rang* nog niet beschreven, maar misschien zou pestgedrag ertoe bijdragen dat kinderen zo'n rang krijgen. Indien er namelijk door het pesten een conflict ontstaat kan een moeder haar kind steunen tegen ranglagere agressors. Kinderen zouden zich dan vooral moeten richten op die groepsleden die een lagere rang dan hun moeder hebben. Uit gegevens blijkt echter dat kinderen álle groepsleden pesten, ongeacht dominantiepositie. Veertig procent van alle acties is gericht tegen dieren die een hogere rang hebben dan de moeder van het kind. Alleen moeder zelf en tante worden niet gepest door een kind. Dat geldt voor elk van de kinderen in de kolonie.

Pesten zou ook een kinderlijke vorm van *agressie* kunnen zijn, optredend in hetzelfde soort situaties als waarin 'normale' agressie optreedt. Kinderen moeten nu eenmaal wat voorzichtiger zijn in hun omgang met volwassenen en het is veiliger om van een afstand een stok te gooien dan om rechtuit te slaan. Pesten blijkt echter, ook bij nauwkeuriger waarneming, meestal zonder directe aanleiding (bijv. competitie om een gevallen eikel of een sociale partner) op te treden, schijnbaar spontaan. Kinderen pesten ook heel plotseling en onverwacht.

Het is een bekend gegeven dat dieren, en vooral jonge dieren, hun fysieke omgeving verkennen. Nieuwe voorwerpen worden voorzichtig bekeken en getest. Is het dan niet logisch dat ook de sociale omgeving verkend wordt? Pesten zou het middel kunnen zijn waarmee kinderen hun sociale omgeving, hun groepsgenoten, provoceren en testen. Door hun hinderlijk gedrag lokken kinderen reacties uit. Die reacties verschaffen informatie. Informatie over waar grenzen liggen en waar grenzen verlegd kunnen worden.

Het blijkt voor pestende kinderen veel uit te maken hoe hun slachtoffer reageert. Fig.1 geeft voor verschillende reactietypen weer hoe vaak kinderen doorgaan met pesten nadat er op een bepaalde manier gereageerd is. Wordt het kind genegeerd of wordt er vriendelijk op hem gereageerd, dan houdt het relatief vaak op. Agressieve en submissieve reacties daaren-



Links: Fig. 1. Agressieve en submissieve reacties van volwassen groepsleden stimuleren kinderen om dóór te gaan met pesten. Vriendelijke reacties en reacties waarbij het kind genegeerd wordt hebben die stimulerende werking niet. Gemiddeld gaat 31 procent van de pestacties door.

Rechtsboven: Een zeven jaar oude jongen dreigt al pestend een volwassen vrouw met een stok. Zij weert af.

tegen werken duidelijk versterkend: het pesten gaat juist dóór. Dit geeft aan waar het kind op uit is: een duidelijke en sterke reactie.

Pesten is dus waarschijnlijk een vorm van *sociale exploratie*. Schijnbaar spontaan, zonder enige aanleiding, lokken jonge dieren reacties uit van volwassen groepsleden, ongeacht dominantiepositie. Zo kunnen zij zelf situaties creëren die hen informatie verschaffen over hun eigen mogelijkheden in afhankelijkheid van de reacties van soortgenoten. Misschien ligt daar ook wel de basis voor het oefenen in tactisch en sociaal intelligent handelen: bepaalde effecten oproepen zonder zelf grote risico's te lopen, steun verwerven e.d. Later als volwassen groepslid moet het dier al dergelijke complexe sociale vaardigheden beheersen.

Literatuur

Goodall, J., (1975). *In de schaduw van de mens.* Elsevier, Amsterdam-Brussel.

Waal, F. de, (1977). *Dominantie-erkenning bij apen.* Natuur en Techniek, *45,* 8.

Waal, F. de, (1982). *Chimpanseepolitiek. Macht en seks bij mensapen.* Becht, Amsterdam.

Tempel, R. van den, Heiligenberg, T. van den, Hooff, J. van, (1983). *Sociaal gedrag bij wolven, parallellen naar de mens?* Natuur en Techniek, *51,* 5.

Leakey, R.E.F., (1983). *De oorsprong van de mens.* Centrale Uitgeverij, Maastricht-Brussel. ISBN 90 70157 24 1.

De evolutie van de mens. De speurtocht naar ontbrekende schakels. Centrale Uitgeverij, Maastricht-Brussel, 1981. ISBN 90 70157 19 5.

Bronvermelding illustraties

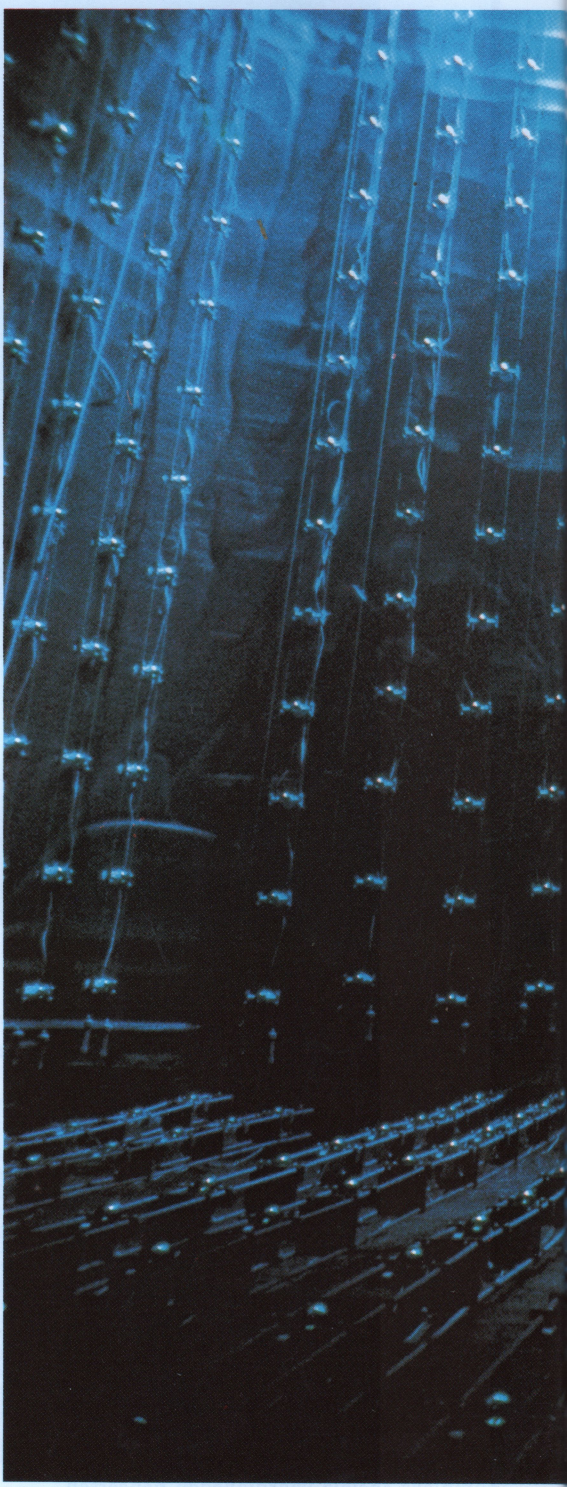
Bert Haanstra: pag. 592-593, 597.

De overige illustraties komen van de auteur.

EURO
ARTIKEL

Nicola Cabibbo
Instituto di Fisica G. Marconi
Rome

Het hele bouwwerk van de natuurkunde is gebouwd op een fundament van vier 'fundamentele' krachten: de zwaartekracht, de elektromagnetische kracht (die de hele chemie regelt), de sterke kracht (die de atoomkernen bij elkaar houdt) en de zwakke kracht (die voor de radioactiviteit zorgt). Men vermoedt dat deze krachten uitingen zijn van één Oerkracht, de grondformule voor het hele heelal. Bij voldoende hoge energie zouden de krachten vanzelf versmelten en de materie slechts naar één Oerwet luisteren. Dat moet zo geweest zijn bij de Oerknal, het begin van ons heelal zo'n 15 miljard jaar geleden. Hogeenergiefysica en astronomie ontmoeten elkaar hier op een van de meest fascinerende fronten van de moderne wetenschap.



Het proton is een van de bouwstenen van alle materie om ons heen. Wie beweert dat het proton onstabiel is, beweert dus dat alle materie, het hele heelal, onstabiel is. Twintig jaar geleden zou men voor deze uitspraak waarschijnlijk van de universiteit verwijderd worden, nu is men in alle ernst naar uiteenvallende protonen aan het zoeken. Gelukkig voor ons is dat een uiterst zeldzame gebeurtenis. In detectoren als deze houdt men dan ook gigantische hoeveelheden protonen (hier van water) tegelijk in de gaten. Dat kan alleen maar diep onder de grond, om storende effecten van de kosmische straling tegen te gaan. Een duiker nam deze foto in het uiterst heldere water van deze detector, de IMB in Michigan. Langs de wanden en op de vloer zien we de rijen vijfduims fotomultiplicatoren.

DE GROTE UNIFICATIE

Alle natuurkrachten onder één noemer?

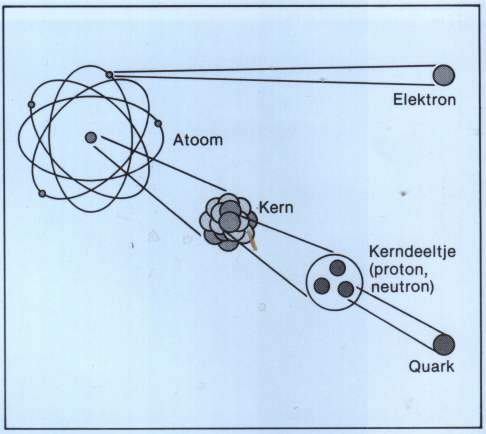
Het standaardmodel

Omstreeks 1970 is men begonnen met een nieuwe beschrijving van de subatomaire wereld. Die beschrijving – het standaardmodel – vormt een grote stap voorwaarts in ons streven naar meer inzicht in de aard van de elementaire bestanddelen van de atomen en de wisselwerkingen daartussen (Veltman, 1980).

Aan de hand van het standaardmodel kan het gedrag van de subatomaire deeltjes onder de meest verschillende proefomstandigheden worden voorspeld. In vele gevallen kan dit met grote nauwkeurigheid, soms is het wel nog moeilijk, aangezien wij de mathematische moeilijkheden van deze theorie nog niet geheel onder de knie hebben. Ook op dit gebied is echter aanzienlijke vooruitgang geboekt. Voor de eerste keer is men er bijvoorbeeld in geslaagd om vanuit de theorie de massa van bijv. het proton en het neutron, de bouwstenen van de atoomkern, te berekenen. De voorspellende waarde van het model werd bevestigd toen men in 1972 een nieuwe versie van de zwakke kracht, de zgn. neutrale stroom, ontdekte (zie de foto op pag. 621) en nogmaals in 1974 bij de ontdekking van een nieuwe quark, de 'tover-quark' (meestal afgekort als c-quark, van het Engelse charm). Nog dit jaar ontdekte men de deeltjes W^+, W^- en Z°, die het model op schitterende wijze bevestigen. Zo te zien beschrijft het standaardmodel de subatomaire wereld tot 10^{-17}m prima; dit is met de huidige deeltjesversnellers de grootte van de kleinste verschijnselen die we nog kunnen bestuderen.

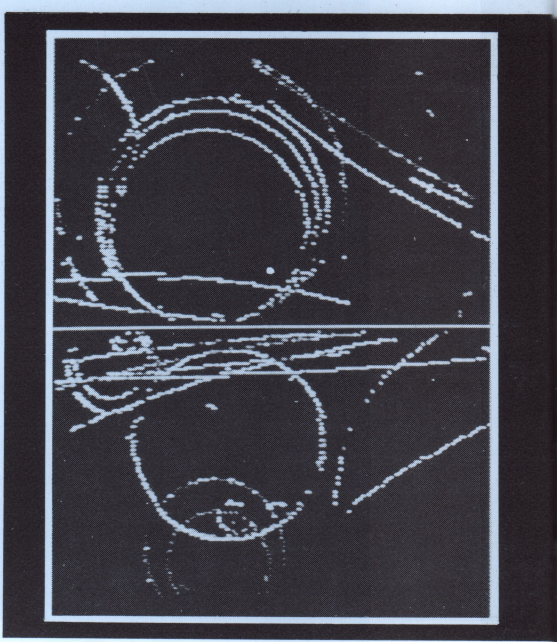
We moeten wel in gedachten houden dat men al een aantal malen gedacht heeft het kleinste deeltje van de materie gevonden te hebben. Dat waren achtereenvolgens moleculen, atomen, nucleonen (protonen en neutronen) en nu de quarks. Overdreven vertrouwen in het definitieve karakter van de huidige theorie is dus ook uit den boze. *There are more things between heaven and earth...*

Wij hebben dan ook geen enkele reden om aan te nemen dat de 'elementaire deeltjes' werkelijk elementair zijn en niet op hun beurt uit kleinere structuren bestaan. In werkelijkheid zijn er meer specifieke redenen om te twijfelen aan de volledige geldigheid van het standaardmodel, redenen die hebben geleid tot diverse voorstellen voor meer volledige modellen.



Boven: Fig. 1. Atomen zijn opgebouwd uit een kern en elektronen. De elektronen zijn niet opgebouwd uit andere deeltjes; de kern wel. Deze bestaat uit een aantal protonen en neutronen, die elk weer opgebouwd zijn uit drie quarks. Quarks en elektronen worden tegenwoordig beschouwd als waarlijk elementaire deeltjes en zijn (voorlopig?) niet verder deelbaar.

Onder: Hoewel het standaardmodel door zowat iedereen aanvaard is, was (en is) een aantal aspecten nog steeds niet experimenteel bewezen. Zo waren de krachtvoerende deeltjes van het zwakke veld nog niet gevonden. In maart 1983 vond men bij CERN het W^+ en W^-; in mei maakte men deze foto, het bewijs voor Z°.



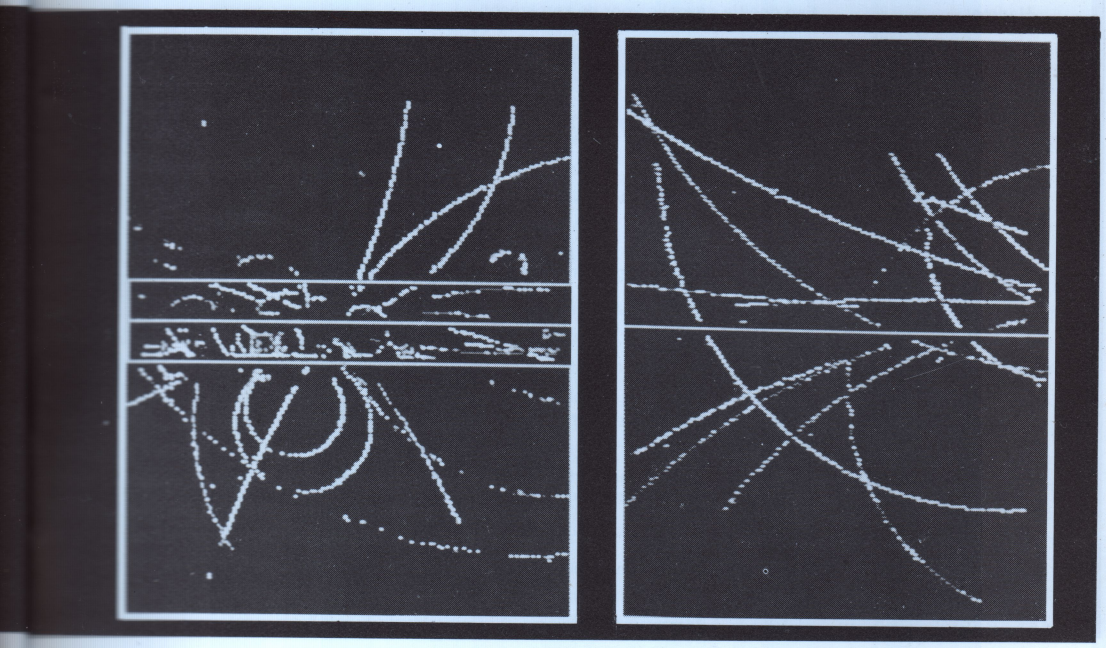
Structurenhiërarchie

Een van de belangrijkste elementen bij het opstellen van wetenschappelijke theorieën is de mogelijkheid een hiërarchie van structuren met steeds kleinere afmetingen op te bouwen. Aan het uiteinde van onze hiërarchie bevindt zich de grootste structuur die wij ons kunnen voorstellen, namelijk het gehele heelal. Afdalend naar kleinere dimensies vinden wij verzamelingen van melkwegstelsels, melkwegstelsels, sterrenstelsels, sterren, planeten. Nog verder afdalend vinden wij de objecten van de technologie en de biologie: huizen, stenen, levende wezens, cellen. En nog lager: moleculen, atomen, nucleonen, quarks. Zal de quark de laatste structuur zijn? Deze vraag – het antwoord daarop is vandaag nog niet bekend – vormt een van de meest fascinerende grenzen van het fysisch onderzoek.

Het denkbeeld van een hiërarchie van structuren is zeer vruchtbaar gebleken omdat het heeft geleid tot enkele belangrijke ontdekkingen in de afgelopen jaren en omdat het aan enkele veelbelovende ideeën ten grondslag ligt, zoals de hypothese van een unificatie van de vier verschillende soorten fundamentele krachten in de natuur.

De hiërarchie van de structuren komt overeen met een hiërarchie van uitspraken. Iedereen weet dat de beweging van een planetenstelsel kan worden beschreven met behulp van drastisch vereenvoudigde formules: het is voldoende de massa van de zon, het aantal planeten en enkele typische parameters van elke planeet: massa, snelheid, enzovoorts te kennen. Evenmin is het, om bijvoorbeeld een huis te ontwerpen, noodzakelijk om alle eigenschappen van de atomaire structuur van de bakstenen te kennen; enkele parameters van de baksteen zijn voldoende : massa, drukvastheid, afmetingen, enz.

Deze twee voorbeelden tonen aan wat waarschijnlijk het fundamentele kenmerk van de wetenschap is: werken met *modellen* (de baksteen voorgesteld als een parallellepipedum, de planeet als een puntmassa). Het fundamentele kenmerk van het model is de drastische *vereenvoudiging* van de werkelijkheid. Het bestaan van kleinere of grotere structuren kan uiteraard niet helemaal buiten beschouwing worden gelaten omdat deze vaak leiden tot waarneembare gevolgen. Het model is nuttig als de 'vreemde' effecten in werkelijkheid klein zijn: uit technisch oogpunt moet het mogelijk zijn ze als 'storingen' te beschouwen.

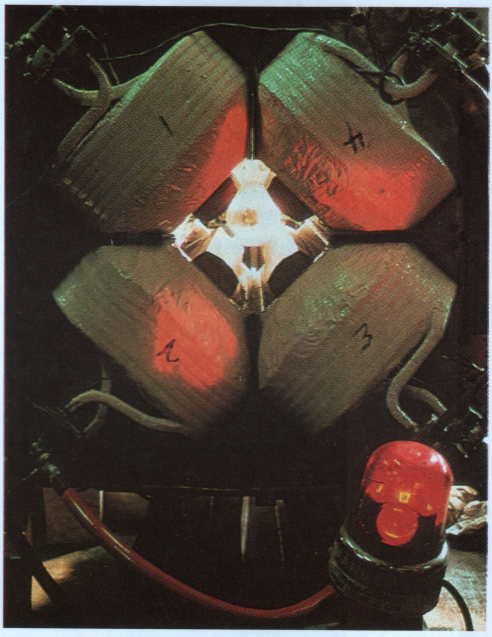


TABEL 1.	**De microwereld van de materie.**
Atoom:	Een kleine, zware kern omgeven door een wolk van veel lichtere elektronen.
Elektron:	Een elementair deeltje in de ware zin van het woord; het heeft een kleine massa en is negatief geladen.
Proton:	Een onderdeel van de atoomkern; het is zo'n 2000 maal zo zwaar als het elektron, maar heeft wel een evengrote, zij het positieve, lading.
Neutron:	Een deeltje dat in alles op het proton lijkt, behalve dat het geen lading heeft. Het komt ook in de atoomkern voor.
Nucleon:	Verzamelnaam voor protonen en neutronen.
Foton:	Het lichtdeeltje; hiermee wordt de elektro-magnetische kracht bedoeld, wanneer deze zich niet als een golfverschijnsel gedraagt.
Positron:	Het anti-deeltje van het elektron met dezelfde massa maar tegengestelde lading.
Anti-materie:	Materie bestaande uit anti-deeltjes, wiens elektrische eigenschappen tegengesteld zijn aan die van de overeenkomende gewone deeltjes.
Meson:	Een van de twee groepen deeltjes die tot de hadronen behoren.
Pion:	Het lichtste meson.
Muon:	Een deeltje dat veel weg heeft van het elektron, alleen zo'n 200 maal zwaarder is.
Hadron:	Een deeltje gevoelig voor de kernkracht.
Lepton:	Een deeltje ongevoelig voor de kernkracht.
Baryon:	Een van de twee soorten hadronen; zij gehoorzamen aan het 'uitsluitingsbeginsel'.
Neutrino:	Een soort lepton, vrij van zowel de invloed van de kernkracht als de elektromagnetische kracht.
Quark:	Een nog niet vrij waargenomen deeltje, waaruit alle hadronen zijn opgebouwd. Men veronderstelt het bestaan van zo'n 6 soorten quarks.
Anti-quark:	Het anti-deeltje van een quark.
'Vreemde' deeltjes:	Een soort hadron met een ongewoon lange levensduur.
Gluon:	Een deeltje, onmisbaar in de beschrijving van de kernkracht (zoals het foton de elektromagnetische kracht vertegenwoordigt, als deze zich niet als een golf gedraagt).
Intermediair vector boson:	Het equivalent van het gluon en het foton, maar dan voor de zwakke kracht.

Velden, golven en deeltjes

De moderne theorieën over submicroscopische structuren noemt men *veldtheorieën*. In deze theorieën zijn ook de resultaten van de quantummechanica en van de relativiteitstheorie van Einstein vervat. Het gaat om complexe theorieën, zowel wiskundig als begripsmatig.

Laten wij trachten enkele algemene kenmerken van deze theorieën toe te lichten. Het eerste kenmerk is het bestaan van *golfbewegingen*, bijv. geluid, licht en radiogolven. Licht en radiogolven zijn allebei elektromagnetische golven, m.a.w. trillingen van elektrische en magnetische velden. Alleen is de frequentie van lichtgolven veel hoger dan die van radiogolven. Eind vorige eeuw kon J.C. Maxwell verband leggen tussen elektrische en magnetische *krachten* en golfverschijnselen als licht. Het bleken gewoon twee verschillende verschijningsvormen te zijn van dezelfde entiteit, namelijk het elektromagnetische *veld*.



Boven: Een kwadrupoolmagneet, waarmee uiterst sterke magneetvelden kunnen worden opgewekt. De magneet heeft vier polen, in plaats van de gebruikelijke twee. Een protonenbundel die door het midden van de magneet naar ons toe komt, zal in het horizontale vlak samengeknepen worden en in het verticale uitgerekt.

Wij weten nu dat er nog een derde aspect is, namelijk dat van de *deeltjes* (zie tabel 1). De ontdekking van dit derde aspect door Planck en Einstein vormde de basis voor de ontwikkeling van de kwantummechanica die aan het einde van de jaren twintig werd voltooid: het licht gedraagt zich zowel als een golf, gekenmerkt door een frequentie, dan als een geheel van deeltjes (fotonen), waarbij elk deeltje zijn eigen energie en impuls bezit.

De triade veld-golf-deeltje is niet specifiek voor elektromagnetische velden en licht, maar algemeen. Alle deeltjes (elektronen, nucleonen, quarks, enzovoorts) vertonen een golfkarakter en dit feit is eveneens in de technologie toegepast, bijv. in de elektronenmicroscoop. Het gevolg van deze dualiteit is dat de termen veld en deeltje in wezen onderling verwisselbaar zijn. Het foton is een verschijningsvorm van het elektromagnetische veld en omgekeerd: het elektromagnetische veld is een verschijningsvorm van het foton.

Verklarende theorieën

De recente vooruitgang bij de bestudering van de fundamentele krachten is er in de eerste plaats een van begripsmatige aard, aangezien een – zij het momenteel nog gedeeltelijke – logische oplossing is gevonden voor het probleem van de uniciteit. In eenvoudige woorden komt het er op neer dat de wetenschap niet alleen maar wil beschrijven maar ook wil verklaren. Uiteraard wordt de wetenschappelijke verklaring steeds teruggebracht tot een beschrijving, zij het in eenvoudiger en fundamenteler bewoordingen, die weer haar eigen vragen doet rijzen. Deze afwisseling tussen beschrijving en verklaring vormt één van de 'motoren' van het wetenschappelijk onderzoek.

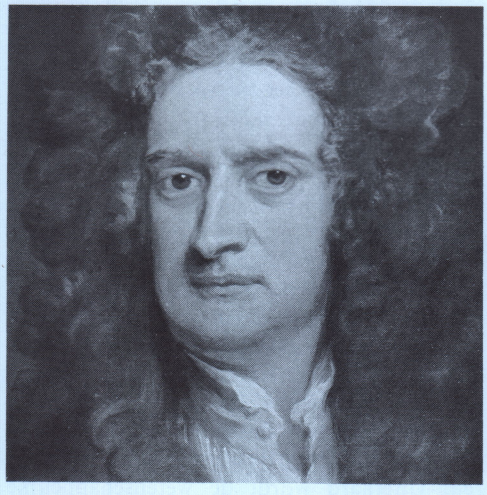
Het klassieke voorbeeld van dit mechanisme vormt de *gravitatietheorie*. Van Isaac Newton is de fundamentele ontdekking dat twee lichamen elkaar aantrekken met een kracht *(F)* die evenredig is met het produkt van hun massa's

(m) en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand *(r)* tussen beide.

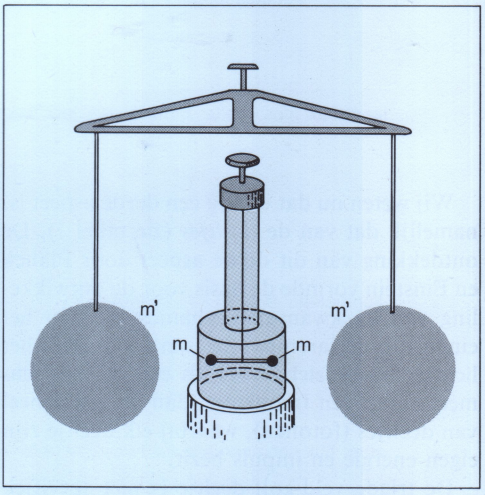
$$F_{ab} = G \frac{m_a m_b}{r^2}$$

De enige willekeurige parameter in deze vergelijking lijkt de constante G (constante van Newton) te zijn. In werkelijkheid is dit niet zo. De kracht had ook evenredig kunnen zijn met de wortel uit de massa, of omgekeerd evenredig met de afstand (zonder kwadraat). De redenering (en de waarneming) vereisten wel dat hoe groter de massa's, hoe groter de kracht (recht evenredig) en hoe groter de afstand, hoe kleiner de kracht (omgekeerd evenredig). Maar hoe sterk die evenredigheid was, volgens een wortel, een kwadraat, een macht van e, een tweederde macht, of nog ingewikkelder, was niet duidelijk. De formule klopte met de waarneming (zie fig. 2), maar was niet echt te verklaren.

De vraag rijst dus: hoe verklaren we dit? Wat is er nu zo uniek aan de formule van Newton? Waarom deze en geen andere? Het antwoord gaf Einstein in 1916 met zijn *algemene relativiteitstheorie.* De theorie van Einstein heeft voor een nieuwe denkmethode gezorgd bij de beschouwing van de elementaire krachten. Nieuw was het idee dat krachten een geometrische oorsprong hebben. Uiteraard zijn wij allen vertrouwd met het bestaan van krachten met een geometrische oorsprong, zoals bijvoorbeeld de middelpuntvliedende kracht waartegen wij ons verzetten als wij een bocht nemen. Het nieuwe in de theorie van Einstein was dat hij aantoonde dat ook de zwaartekracht een geometrische oorsprong heeft. Het zou ons hier te ver voeren in technische details te treden, maar het resultaat is fundamenteel: 'Als de gravitatiekracht van geometrische oorsprong is dan *moet* zij eruit zien zoals door Newton beschreven'. Einstein kon de zwaartekracht niet langer alleen beschrijven maar ook verklaren.



Boven: Isaac Newton (1642-1727) is een van de grootste genieën aller tijden. Naast de wet van de zwaartekracht, formuleerde hij de dynamica, legde de basis voor de mechanica van de planeten en ontdekte dat wit licht een mensel is van kleuren. Omdat hem dat makkelijker leek bij de wiskundige formulering van zijn theorien, ontwierp hij eventjes tussendoor de differentiaal- en integraalrekening.



Boven: Fig. 2. Het principe van de torsiebalans van Cavendish om de gravitatieconstante experimenteel te bepalen. De twee grote loden bollen van massa *m'* werden in een geschikte stand gebracht ten opzichte van de kleine gouden bollen van massa *m*. De gravitatiekrachten tussen de bollen resulteerden in een koppel dat de ophangdraad (een dunne kwartsdraad) enigszins verwrong. Via een lichtstraal op een (niet getekend) spiegeltje aan de draad kon men die torsie meten.

Geometrische structuur in de veldtheorie

De grondgedachte van Einstein werd in 1954 door Yang en Mills uitgebreid. Zoals in het geval van de gravitatietheorie van Einstein impliceren de nieuwe geometrische structuren het bestaan van nieuwe krachtvelden. Het werk van Yang en Mills opent de mogelijkheden van niet één enkele geometrische structuur, maar van een hele familie van mogelijke structuren, en uit proefnemingen zal moeten blijken welke structuur of structuren werkelijk bestaan.

Dit heeft geleid tot het formuleren van het zgn. *standaardmodel* waarin alle fundamentele wisselwerkingen zijn afgeleid van een geometrische structuur die wordt aangeduid met het symbool uit de groepentheorie:

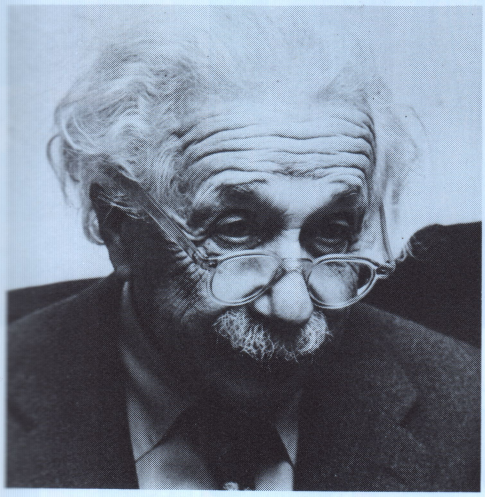
$$U(1) \times SU(2) \times SU(3)$$

De theorieën van Yang en Mills worden gekenmerkt door het feit dat hun vergelijkingen invarianten zijn, zelfs indien in verschillende punten in de ruimte transformaties worden uitgevoerd, m.a.w. als men de karakteristieke grootheden van de theorie transformeert, blijft de vorm van de vergelijking onveranderd. Dergelijke theorieën heten ook wel theorieën met lokale invariantie, of *ijktheorieën*.

Het fundamentele resultaat van de onderzoekingen van Yang en Mills bestaat erin dat is aangetoond dat aan de eis van lokale invariantie slechts kan worden voldaan indien bepaalde krachtvelden bestaan, waarvan de eigenschappen volledig afhankelijk zijn van de aard van de groep symmetrieën.

De structuur van het standaardmodel vereist vier velden voor de componenten U(1)xSU(2). Één daarvan is het elektromagnetische veld; de andere drie velden geven aanleiding tot zwakke wisselwerkingen. Aan deze vier velden beantwoorden evenveel deeltjes: het foton en de deeltjes W^+, W^- en Z°. De lokale invariantie SU(3) vereist acht velden, verantwoordelijk voor de krachten tussen de quarks en derhalve voor zowel de structuur van o.a. het proton en het neutron (die zijn samengesteld uit quarks), als voor de kernkrachten zelf. Met deze velden komen acht deeltjes overeen, de gluonen (van het Engels glue = lijm). Telkens als lichamen een kracht op elkaar uitoefenen, doen zij dat door uitwisseling van de bijbehorende deeltjes. Als bijv. drie quarks bij elkaar blijven om een proton te vormen, worden zij door gluonen aan elkaar 'gelijmd'.

Door dit standaardmodel kennen wij dus tegenwoordig de geometrische oorsprong van de vier fundamentale krachten in de natuur.



Boven: Albert Einstein (1879-1955), het grote genie van deze eeuw. Op alle gebieden van de fysica is zijn invloed merkbaar. Hij ontwierp de relativiteitstheorie en een nieuwe zwaartekrachttheorie en leverde onder andere fundamentele bijdragen aan de warmtetheorie en de kwantummechanica. Hij formuleerde al veertig jaar op voorhand het principe van de laser. Hij verzette zich heftig tegen het misbruik van de wetenschap voor oorlogsdoeleinden.

Problemen

Met het standaardmodel zijn we erin geslaagd twee van de fundamentele krachten onder één noemer te brengen. De elektromagnetische en de zwakke kracht komen immers beide van component U(1) x SU(2) van de symmetriestructuur. De ontdekking in 1972 van de neutrale stroom bevestigde dit.

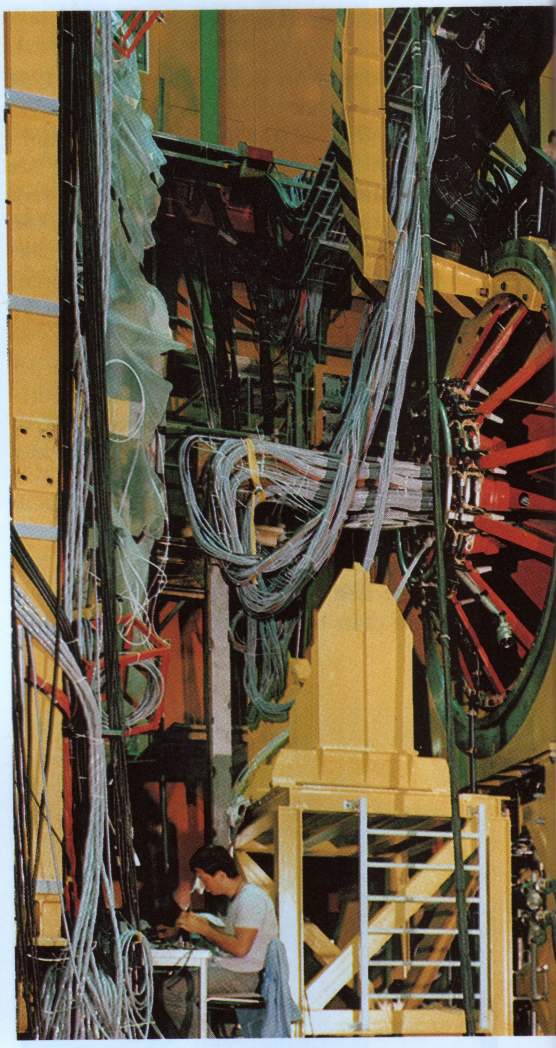
De kernkracht komt echter van de onafhankelijke component SU(3), en is dus in dit model niet te unificeren. Verder hebben we geen geometrische verklaring voor een aantal velden en dus deeltjes, waaronder de elektronen en de quarks. Tenslotte komt de zwaartekracht in de hele theorie niet voor.

De organisatie van elementaire deeltjes

De classificatie van de 'elementaire' deeltjes wordt weergegeven in fig. 3 en 4 en tabel 2. Een eerste onderverdeling wordt gemaakt tussen de 'krachtvelden' (ijkvelden) en de bestanddelen. De deeltjes worden onderscheiden naar spin en lading (Q), waarbij we de protonlading als eenheid nemen, ($1Q \approx +1{,}6.10^{-19}$ Coulomb). De t-quark moet nog gevonden worden, maar de theorie klopte voor de andere quarks zo goed dat niemand daar echt wakker van ligt.

Het standaardmodel kent minstens één deeltje met spin nul, het deeltje van Higgs. Dat is evenmin gevonden en omdat de theorie niet meer zegt dan dat zijn massa tussen zes en tweehonderd protonmassa's ligt is het nog wel even zoeken geblazen.

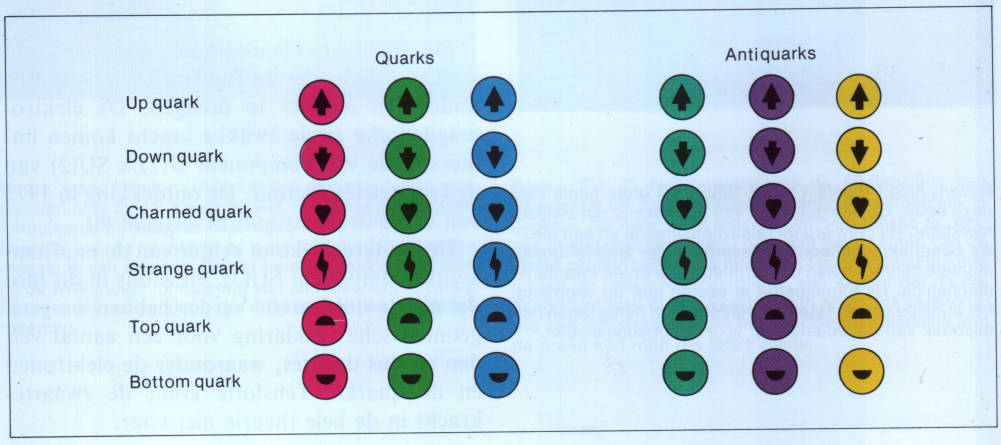
De quarks kunnen nog verder ingedeeld worden naar één van hun eigenschappen, de zgn. *kleur* (zie fig. 3). Elke quark kan in drie toestanden voorkomen, die we rood, groen en blauw noemen. Zoals bekend bestaat er naast de materie ook antimaterie. Er bestaan dus

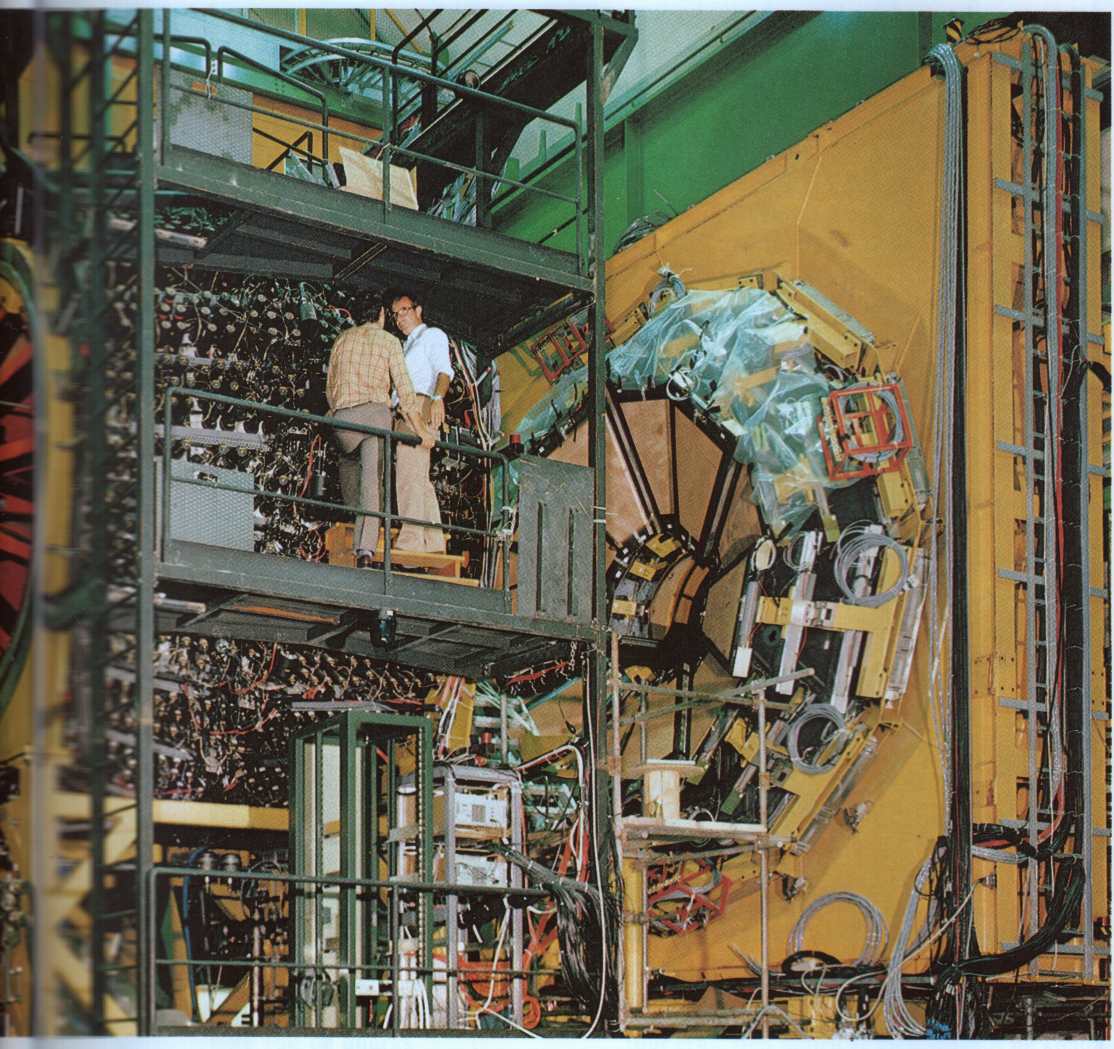


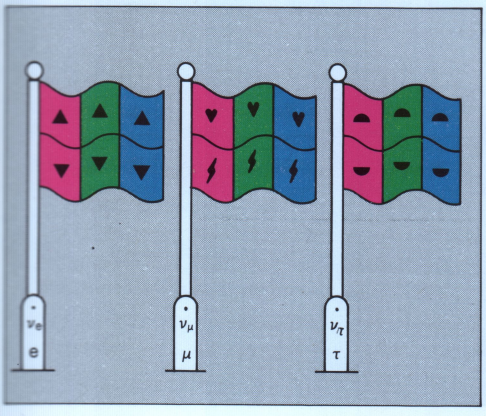
Rechts: De detector UA2 (Underground Area 2), zo'n tweehonderd ton materiaal op zoek naar de bosonen van de zwakke kracht.

Onder: Fig. 3. Quarks bestaan in drie kleuren. De antiquarks hebben altijd de antikleur. De symbolen in de quarks geven het soort quark weer (vaak gebruikt men ook de eerste letter van hun Engelse naam). (Anti)quarks groeperen zich steeds zo, dat het gevormde deeltje wit is.

Rechtsonder: Fig. 4. De drie vlaggemasten met de leptonen in de vlaggestok en de quarks in de vlag. Zo zijn er ook drie vlaggemasten met de antideeltjes en vanzelfsprekend in de vlag de antikleuren.

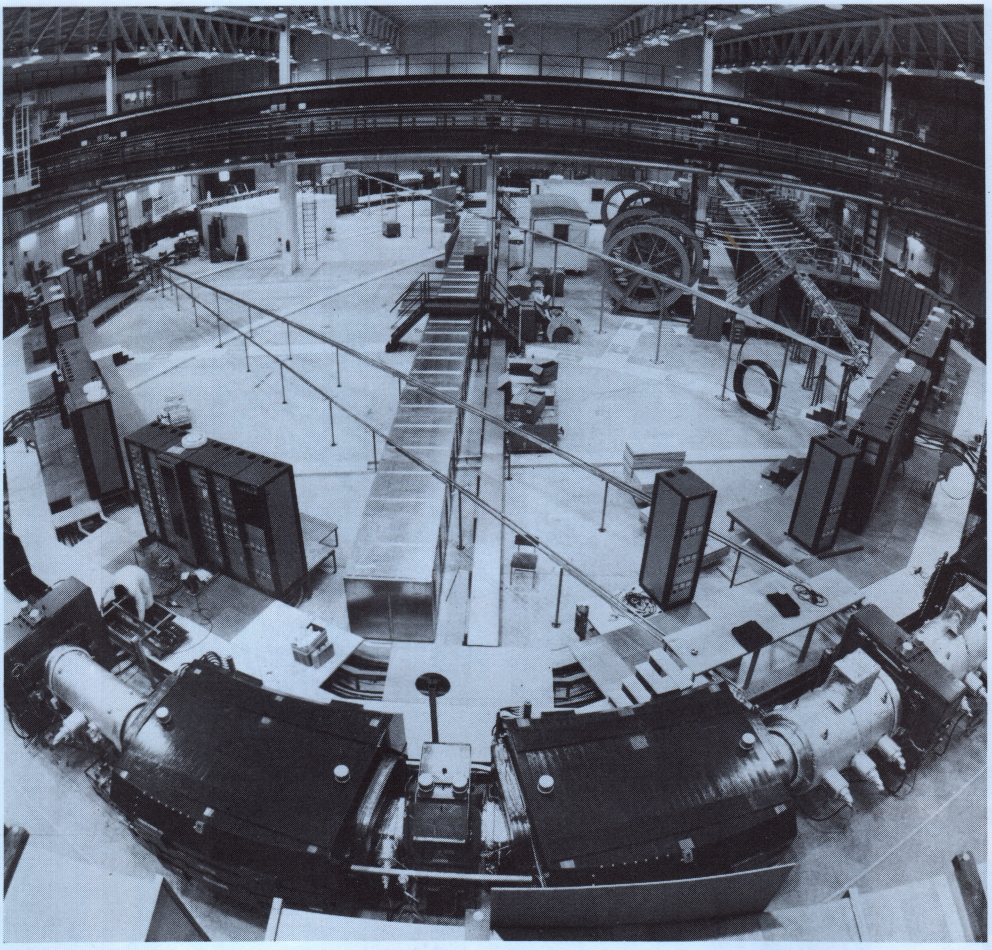




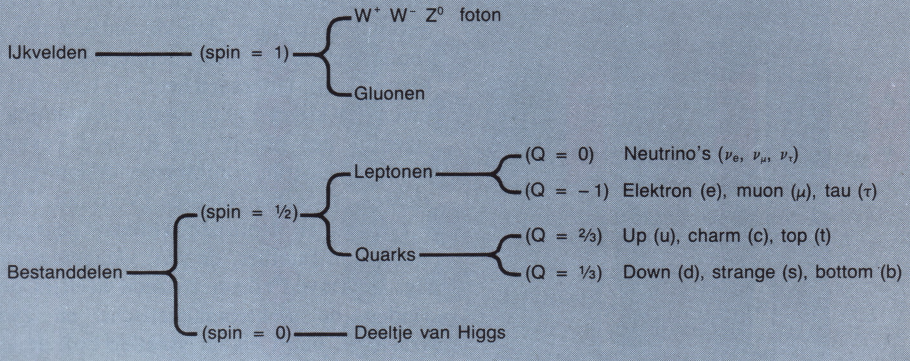


ook anti-elektronen, antineutrino's enz. De antiquarks krijgen dan de antikleuren anti-rood (turkoois), antigroen (violet) en anti-blauw (geel). Uiteraard heeft dit helemaal niets met echte kleuren te maken (de benaming was eigenlijk een grapje van Richard Feynman), maar de kleuren combineren in sommige opzichten als 'echte' kleuren (Veltman, 1980).

Quarks en leptonen kunnen gegroepeerd worden in families, de zgn. *vlaggemasten* (zie fig. 4). Boven elkaar staande deeltjes ondervinden de elektromagnetische en zwakke krachten, naast elkaar staande ook de sterke kracht.



TABEL 2. **De elementaire deeltjes.**



Geheel Links: De ontdekking van de bosonen werd mogelijk door deze machine, een opslagring voor antiprotonen. De machine is voor een groot deel het werk van de Nederlandse ingenieur Van der Meer. De antiprotonen worden in de ring verzameld tot een bundel van voldoende hoge intensiteit voor versnellings- en botsingsproeven.

Links: In het begin trachtte men quarks vrij te maken door twee protonen onder hoge snelheid frontaal op elkaar te laten botsen. Al snel kwam men er achter dat zoiets niet lukte. Hier twee experimentele magneten op een dergelijk apparaat, de intersecting storage rings (ISR) bij CERN.

methode is gebaseerd op de simulatie, met behulp van computers, van de kwantum-veldtheorieën.

Daar het gedrag van zo'n veld in ruimte en tijd ons begrip en de rekensnelheid van de computers ver te boven gaat, beginnen we met de hele ruimte-tijd te herleiden tot een aantal punten in een kubusvormig netwerk (zoiets als een kristalrooster), die we op een beperkt aantal tijdstippen bekijken. Met een beetje geluk kunnen we de realiteit dan beschrijven als een groot bouwwerk van allemaal dezelfde ruimte-tijd-kubussen, waarbij wat gebeurt in de gaten tussen de punten het 'gemiddelde' is van de naburige punten. Zodra de veldtheorie op die wijze is gereduceerd tot een beperkt aantal variabelen, nl. één per ruimte-tijdpunt, kan het kwantumgedrag ervan worden gesimuleerd.

Met deze simulatie tracht men een antwoord te geven op de volgende vraag: hoe zou de natuur eruit zien indien ze zich volgens de kleurtheorie zou gedragen? Het gaat dus meer om een experiment dan om een berekening. De resultaten van deze experimenten zijn zeer interessant: de quarks en de gluonen die in het kleine wereldje van de computer worden gesimuleerd, lijken zich te gedragen zoals zij dat in werkelijkheid doen. De quarks verbinden zich inderdaad om samengestelde deeltjes te vormen, dezelfde als in de natuur. Zo kunnen de experimenten nauwkeurig de waarde van de massa van talrijke deeltjes die samengesteld zijn uit quarks, waaronder het proton en het neutron, voorspellen. Deze eerste resultaten lijken derhalve een bevestiging te geven van de juistheid van de kleurtheorie (de zogenaamde chromodynamica).

De opsluiting van de quarks

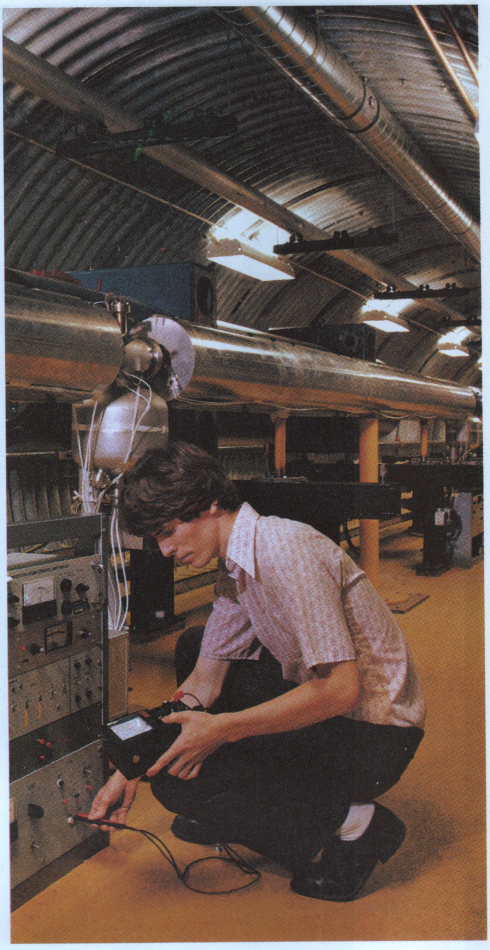
Kleurkrachten zijn veel ingewikkelder dan de andere fundamentele wisselwerkingen. Een van de meest buitengewone aspecten ervan is het feit dat de quarks nooit als vrije deeltjes voorkomen, maar alleen als bestanddelen van andere deeltjes, zoals protonen en neutronen, waarin ze door gluonen bij elkaar gehouden worden. Dit verschijnsel wordt *quarkopsluiting* genoemd. Kan de quarkopsluiting verklaard worden?

Onlangs is een nieuwe methode ontwikkeld voor de bestudering van de kwantum-veldtheorieën, die belangrijke resultaten heeft opgeleverd voor het onderzoek naar de wisselwerkingen tussen quarks en gluonen. De

De asymptotische vrijheid

De quarkopsluiting komt voort uit het gedrag van de krachten (gluonen) op relatief grote afstanden, dat wil zeggen van de orde van de afmetingen van een proton, 10^{-14}m. Voor kleinere afstanden, bijvoorbeeld kleiner dan 10^{-15}m, is de situatie veel eenvoudiger en kan het gedrag van de gluonkracht direct worden berekend. Het blijkt dan dat de kracht tussen twee quarks wordt weergegeven door een formule die lijkt op die van de zwaartekracht en van de elektrostatische kracht.

Bij grotere afstanden wordt de kracht echter heel groot (zie fig. 5). Dit wordt *asymptotische vrijheid* genoemd: wanneer twee quarks dichter bij elkaar komen neemt de wederzijdse kracht af. Voor afstanden die in de buurt van nul komen, hebben de quarks de neiging zich te gedragen 'alsof ze vrij voorkomen'.

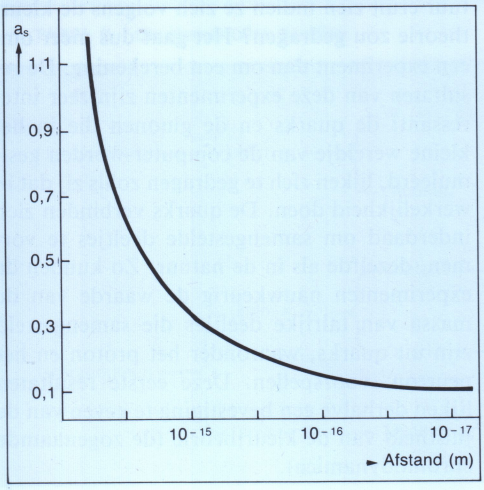


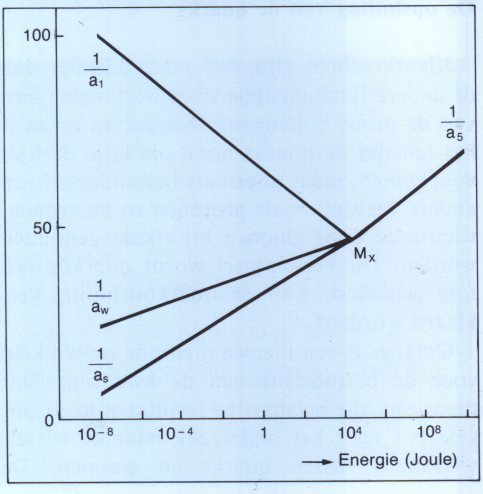
Rechts: Momenteel is men aan het werken aan versnellers met hogere energie die de broodnodige harde feiten moeten aandragen bij de theorie. De energiewinst zit o.a. in supergeleidende magneten, zoals hier bij Isabelle.

Geheel rechts: Een kruispunt in de ISR bij CERN, waar proton-protonbotsingen bij 4,5 nJ plaatsvinden.

Onder: Fig. 5. Op grote afstand (r) wordt de kracht (F) tussen gluonen steeds groter, op kleine afstand volgt ze de formule $F = a_s \cdot r^{-2}$, waarbij a_s daalt met de afstand.

Rechtsonder: Fig. 6. Bij voldoende hoge energie (veel, heel veel meer dan wij kunnen opwekken) vallen de drie koppelingsconstanten samen, wat betekent dat we de drie krachten geünificeerd hebben.





De grote unificatie

Wat gebeurt er indien wij de wegen die wij bewandeld hebben met behulp van het standaardmodel verlaten en willen voortgaan met de bestudering van verschijnselen die zich afspelen op afstanden kleiner dan 10^{-17}m? De eerste moeilijkheid daarbij vormen de momenteel en in de nabije toekomst beschikbare deeltjesversnellers.
Door de onzekerheidsrelatie van Heisenberg bestaat er namelijk een verband tussen de beschikbare energie in een versneller en de minimaal te bestuderen afmetingen. De maximale beschikbare energieën van circa 0,15 mJ (1000 GeV) stellen ons derhalve in staat afstanden te bestuderen die niet kleiner zijn dan 10^{-18}m.

De meest verstandige manier om het probleem van de kleine afstanden op te lossen bestaat in de theoretische extrapolatie van de huidige kennis naar hogere energieën (voortaan zullen wij het hebben over energieën in plaats van over afstand, aangezien beide grootheden met elkaar verbonden zijn door de onzekerheidsrelatie), waarna wij nagaan af deze extrapolatie het bestaan van nieuwe verschijnselen suggereert en of deze verschijnselen gevolgen kunnen hebben die met de thans beschikbare middelen waarneembaar zijn.

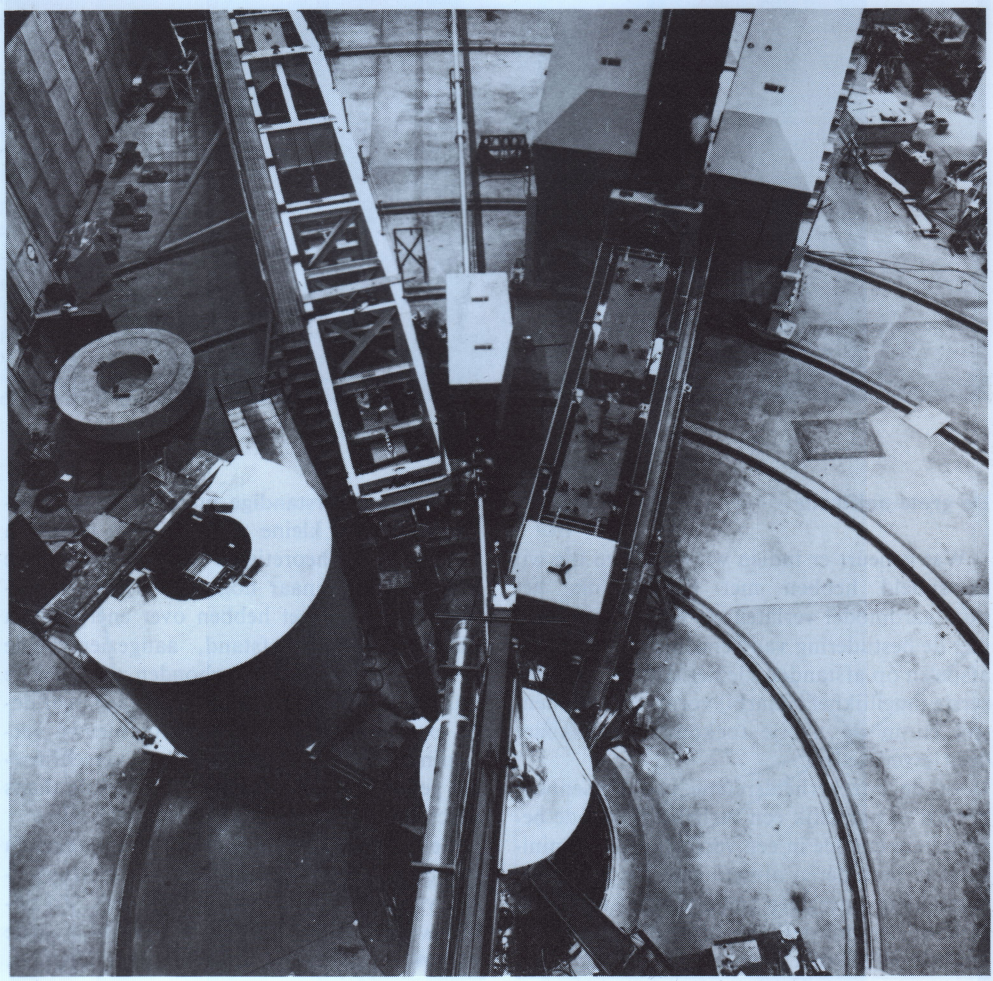
Een andere mogelijkheid is het terugrekenen van de uitdijing van het heelal (de sterrenstelsels vluchten immers van elkaar weg). Zo komen we bij de Oerknal (Big Bang) terecht, waar de materie bij dergelijke hoge energieën bestond.

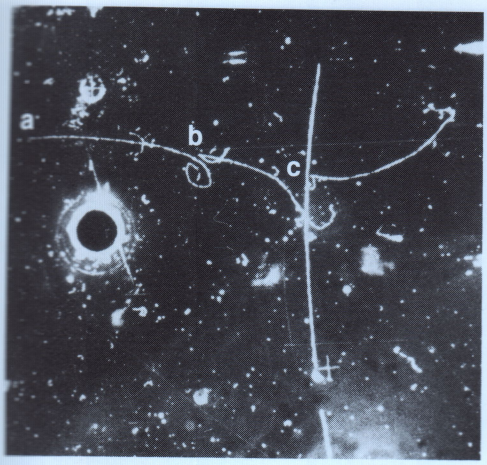
De drie koppelingsconstanten

Het standaardmodel, gebaseerd op de symmetriegroep U(1) x SU(2) x SU(3) bevat drie *koppelingsconstanten*, een voor elk van de drie enkelvoudige groepen waaruit het model bestaat: a_1 voor U(1), a_w voor SU(2) en a_s voor SU(3). a_s bepaalt de intensiteit van de gluonenwisselwerkingen (de sterke kracht), terwijl a_w de intensiteit van de zwakke wisselwerkingen bepaalt. De elektromagnetische kracht wordt niet bepaald door a_1, maar door de zgn. fijnstructuurconstante α, die afhangt van a_1 en a_w (Veltman, 1980).

Om redenen die verband houden met het kwantumkarakter van deze veldtheorieën zijn de constanten a_1, a_w, a_s niet echt 'constant' maar variëren naargelang van de afstand of, volgens de onzekerheidsrelatie, naargelang van de energie. Derhalve kunnen wij de waarde van de drie constanten naar hogere energieën extrapoleren (zie fig. 6). Gemakkelijkheidshalve worden in de figuur de omgekeerde waarden van de drie koppelingsconstanten gebruikt die met een bevredigende benadering door rechten worden weergegeven.

Het fundamentele kenmerk van deze extrapolatie is dat de drie rechten samenkomen bij een energie van $\sim$ 20 kJ (10^{14} GeV). Dit kenmerk heeft het bestaan doen vermoeden van een *grote unificatie* van de drie wisselwerkingen. De fundamentele hypothese van de theo-

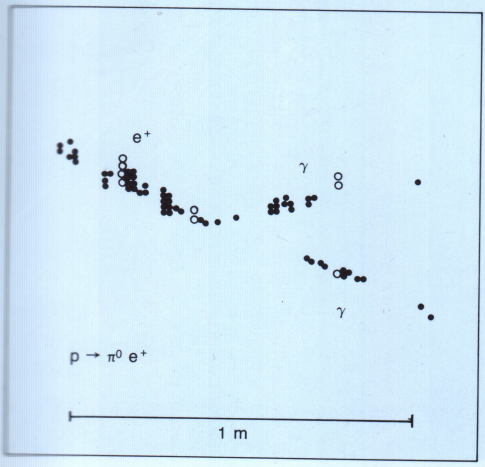




Boven: De unificatie van de elektromagnetische en de zwakke kracht vereist het bestaan van de zgn. zwakke stroom, die op bovenstaande foto uit het bellenvat Gargamelle ontdekt werd. Bij een botsing tussen een antineutrino (onzichtbaar) en een elektron ontstond een nieuw elektron (a) en twee gammastralen die weer een elektron-antielektronpaar creëren (b,c).

Links: De grote unificatie is een werk op wereldschaal. Hier de elektronverstrooiingsdetectoren te Stanford die keken naar overtredingen van de wet van behoud van pariteit, eveneens een vereiste in de unificatietheorie van de zwakke en elektromagnetische kracht.

Onder: Fig. 7. De detector van Fréjus heeft hier een proces geregistreerd dat kan uitgelegd worden als protonverval, waarbij een positron en een neutraal pion ontstaan. Het pion desintegreert hier in twee gammastralen. De punten stellen plasmatellers voor, de cirkels Geigertellers. De detector ligt onder de Mont-Cenis, op een diepte die overeenkomt met 4,5 km water.



rieën van de grote unificatie bestaat erin dat de symmetriegroep in feite groter is dan die waarvan in het standaardmodel wordt uitgegaan, dat wil zeggen een enkelvoudige groep die de drie componenten U(1), SU(2) en SU(3) als 'subgroep' bevat.

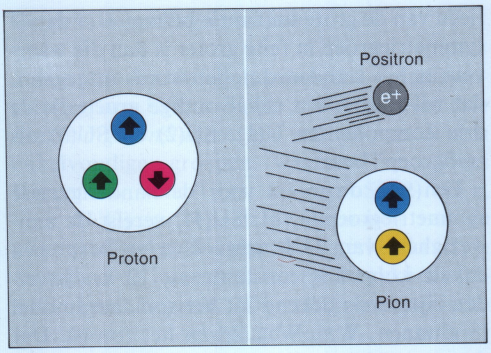
Een van de meest voor de hand liggende symmetriegroepen, nl. SU(5), vereist de aanwezigheid van 24 krachtvelden en bevat een enkele koppelingsconstante a_5; 12 krachtvelden zijn reeds bekend uit het standaardmodel (8 gluonen, W^+, W^-, Z° en het foton). Dat de overige 12 tot dusverre nog niet zijn waargenomen, is een gevolg van het feit dat de daarmee geassocieerde deeltjes, die wij X zullen noemen, een zeer grote massa M_X hebben. Door de formule van Einstein, $E = mc^2$ (energie = massa x kwadraat van de lichtsnelheid), betekent dit dat wij deze deeltjes in versnellers pas kunnen waarnemen bij enorm hoge energieën, tientalllen miljarden malen hoger dan de huidige, hetgeen onmogelijk is. Voor energieën veel lager dan wat overeenkomt met M_X, gedraagt het model zich gelukkig alsof de deeltjes X niet bestaan, dus als het standaardmodel.

Voor energieën veel hoger dan M_X daarentegen zijn de 24 velden van SU(5) alle 'actief' en moet er een enkele koppelingsconstante a_5 bestaan. De drie koppelingsconstanten van het standaardmodel dienen derhalve samen te komen in een enkele waarde voor een energie die dichtbij M_X ligt. Volgens fig. 6 is deze waarde ongeveer 20 kJ.

De instabiliteit van het proton

De effecten van de met de deeltjes X geassocieerde nieuwe krachten zijn zeer zwak. De effectieve intensiteit van een krachtveld waarmee een deeltje met een massa M correspondeert, is namelijk (voor energie $E \ll M$) evenredig met $a\,M^{-2}$, waarbij a de desbetreffende koppelingsconstante is. Gelukkig kunnen deze zeer zwakke krachtvelden via een omweg toch worden opgespoord. Zij kunnen namelijk quarks omzetten in leptonen. Zo geven een up en een down quark dan een anti-up en een positron. Als die quarks deel uitmaken van een proton, zal dat vervallen in een π-meson en een positron:

$$\text{proton } (u\ u\ d) \rightarrow \text{meson } \pi^0\ (u\ \bar{u}) + e^+$$



Boven: Fig. 8. Een proton, bestaande uit twee up- en een downquark in de drie kleuren, vervalt in een positron en een neutraal pion (up en anti-up). Tijdens de reactie is er behoud van lading en moeten de nieuwe deeltjes wit zijn.

Rechts: Een luchtfoto van CERN te Genève, aan de Frans-Zwitserse grens. De ingetekende grote cirkels zijn het bestaande Super Proton Synchrotron (SPS) en de geplande nog grotere Large Electron Positron ring (LEP). De fysici verwachten heel veel gegevens voor de grote unificatie van elektron-positron botsingen.

Tot de komst van de grote unificatie ging men ervan uit dat het proton een stabiel deeltje was. Naar vervalprocessen van bovengenoemde soort werd gezocht, maar ze werden nooit waargenomen. De theorie SU(5) voorspelt nu de instabiliteit van het proton met een gemiddelde levensduur tussen 10^{29} en 10^{32} jaren. Andere soorten grote unificatietheorieën leiden tot soortgelijke prognoses.

Een nieuwe generatie proefapparaten waarmee deze prognoses kunnen worden geverifieerd, is (of wordt momenteel) in gebruik genomen. Over het algemeen zijn deze apparaten vrij eenvoudig: een groot aantal protonen wordt voortdurend in de gaten gehouden. Bijvoorbeeld, indien de gemiddelde levensduur 10^{30} jaar bedraagt, en duizend ton materiaal – dat ongeveer 10^{33} protonen bevat – wordt voortdurend gecontroleerd, dan zou men in één jaar tijd duizend protonen moeten zien uiteenvallen. Om deze verschijnselen te kunnen onderscheiden van o.a. de kosmische straling worden de proefapparaten in daarvoor bestemde laboratoria op grote diepte onder de grond gebouwd. Dergelijke laboratoria bevinden zich onder de Mont Blanc en de Mont Cenis, terwijl een groter laboratorium dat onder de Gran Sasso moet worden gebouwd, momenteel wordt ontworpen.

De magnetische monopool

De elektrische en de magnetische wetten werden al in de vorige eeuw 'geünificeerd' door Maxwell, tot één elektromagnetische kracht. Toch blijven de elektrische en magnetische eigenschappen van materie zeer verschillend. Terwijl positieve en negatieve elektrische ladingen gescheiden kunnen bestaan, is het niet mogelijk magnetische ladingen te scheiden: zuidpool en noordpool (het magnetisch equivalent van de positieve en negatieve ladingen) bestaan steeds samen op dezelfde magneet. Er bestaan dus wel 'dipolen', maar tot dusverre zijn nog geen afzonderlijke polen, *monopolen,* waargenomen.

De oorsprong van deze asymmetrie werd in 1931 gedeeltelijk verklaard door Dirac. Hij toonde aan dat de kwantummechanica het bestaan van monopolen niet uitsluit. De waarde die Dirac voor de magnetische lading g vond was gelijk aan:

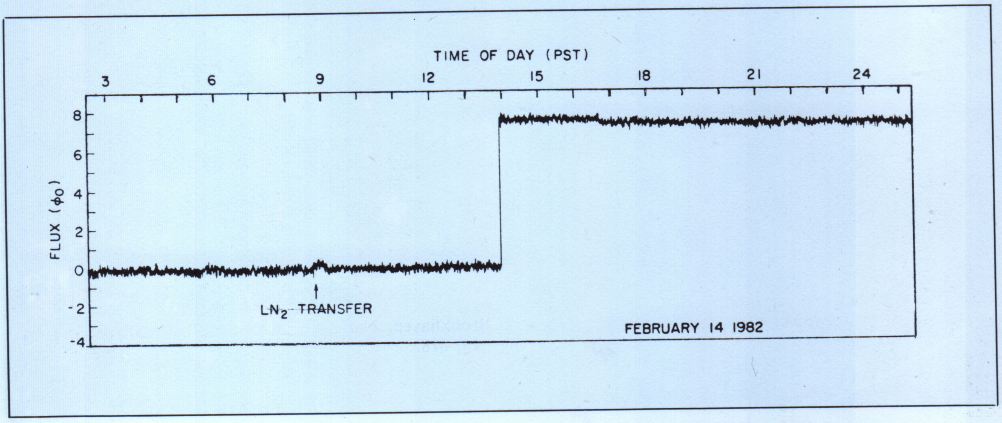
$$g = \frac{\hbar c}{2e}$$

waarbij $\hbar$ de constante van Planck is, c de lichtsnelheid en e de kleinst mogelijke elektrische lading. De minimumwaarde van g vertegenwoordigt een enorme magnetische lading: de afstotingskracht tussen twee monopolen zou ongeveer duizend keer sterker zijn dan die tussen twee elektronen op dezelfde afstand. Magnetische monopolen zouden deeltjes zijn die sterk zouden verschillen van de normale deeltjes met een elektrische lading.

Tot de komst van de grote unificatietheorie was er geen enkele reden om in het bestaan van monopolen te geloven. De situatie is nu veranderd: in 1974 hebben G. 't Hooft en G. Polyakov aangetoond dat talrijke ijkveldtheorieën waaronder de huidige grote unificatietheorieën het bestaan van monopolen in het vooruitzicht stellen. De monopolen komen in deze theorieën niet voor als elementaire deeltjes, maar als afzonderlijke stabiele configuraties van de andere elementaire velden van de theorie (krachtvelden en velden van Higgs). Het vinden van zo'n monopool zou dus een grote steun zijn voor de unificatie.

Deze monopolen zouden zich thans tussen de melkwegstelsels bewegen, een deel daarvan zou zich zelfs in een baan om de zon of zelfs om de aarde kunnen bevinden. De snelheid waarmee zij zich bewegen, zou tussen enkele tientallen en enkele honderden kilometers per seconde, de typische snelheid van een meteoriet, moeten bedragen!

Bij de bestudering van de monopolen wordt heden ten dage gebruik gemaakt van gevoelige magnetische uitrustingen, gebaseerd op supergeleiding. In maart 1982 heeft de eerste van deze installaties, gebouwd aan de Universiteit van Stanford door de Spaanse fysicus Blas Cabrera, een gebeurtenis geregistreerd die als het voorbijkomen van een monopool zou kunnen worden geïnterpreteerd. Als de interpretatie juist is, zou deze waarneming spoedig moeten worden bevestigd door nieuwe nog gevoeliger installaties die momenteel in Stanford en in andere onderzoekscentra overal ter wereld worden gebouwd.



Boven: Om de benodigde gigantische energieën op de deeltjes over te dragen, gebruikt LEP nog veel meer energie dan hij doorgeeft. Elke technische kunstgreep die de efficiëntie kan opdrijven geeft meteen een grote verlaging van het energieverbruik. Hier een supergeleidende radiofrequentie trilholte die een veel hoger rendement heeft dan de vroegere caviteiten.

Linksonder: Fig. 9. De originele grafiek uit het experiment van Blas Cabrera toont een fluxtoename in zijn supergeleidende niobiumring die precies overeenkomt met de verwachtingen voor de magnetische monopool.

Verder dan de grote unificatie

De ijktheorieën leveren een bewijs voor het bestaan van krachtvelden, maar niet voor het bestaan van andere velden en deeltjes. Deeltjes met een spin gelijk aan nul en ½ kunnen bestaan en bestaan, maar zijn niet vereist. In de zgn. *supersymmetrische theorieën* is de situatie anders: de krachtvelden die corresponderen met deeltjes met een spin van 1 moeten vergezeld gaan van deeltjes met een spin van ½. Een dergelijk verband bestaat tussen velden met een spin gelijk aan 0 en velden met een spin gelijk aan ½.

De supersymmetrieën lijken de aangewezen weg te zijn om tot een volledige unificatie van de fundamentele wisselwerkingen, waartoe ook de zwaartekracht (gravitatiewisselwerking) behoort, te komen. Het gravitatiekrachtveld is namelijk geassocieerd met een deeltje met een spin 2, terwijl de overige krachtvelden geassocieerd zijn met velden met een spin 1. Alleen de supersymmetrie zou een nauw verband tot stand kunnen brengen tussen velden met verschillende spin. Dergelijke theorieën worden supergravitatie genoemd.

Supersymmetrieën en supergravitatie doen twee soorten theoretische problemen rijzen: in de eerste plaats de ontwikkeling van een model dat overeenstemt is met de momenteel bekende feiten, en ten tweede, maar niet van minder belang, het vinden van mogelijke nieuwe consequenties van het model die met de tot dusverre opgedane ervaring kunnen worden vergeleken. De theoretische fysici hebben nog heel wat werk voor de boeg!

Literatuur

Weinberg, S., (1983). *De eerste drie minuten. Nieuwe inzichten over het ontstaan van het heelal.* Centrale Uitgeverij, Maastricht – Brussel. ISBN 90 70157 32 2.

Calder, N., (1977). *Sleutel tot het heelal.* Bosch en Keuning NV, Baarn. ISBN 90 246 6982 0.

Fast, J.D., (1980). *Energie uit atoomkernen.* Centrale Uitgeverij, Maastricht – Brussel. ISBN 90 70157 15 2.

French, A.P., (1971). *Speciale relativiteitstheorie.* Het Spectrum, Utrecht – Antwerpen. ISBN 90 274 7545 8.

Hoge-energiefysica. Natuur en Techniek. Een serie van 7 artikelen, cat. nr. 958. Dit artikel is het achtste in de serie.

Veltman, M., (1980). *De organisatie van elementaire deeltjes.* Natuur en Techniek, *48*, 9. Het bij dit artikel meest relevante deel uit bovenstaande serie.

Walle, R.T. Van de, (1970-72). *Elementaire (?) deeltjes.* Natuur en Techniek. Een serie van 12 artikelen, cat. nr. 957.

Bronvermelding illustraties

Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, Californië: pag. 606-607.
CERN, Genève: pag. 608-609, 614-615, 616, 617, 619, 621, 622-623, 625.
Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, Californië: pag. 611, 620.
Bildarchiv Preussicher Kulturbesitz, Berlijn: pag. 612, 613.
Brookhaven National Laboratory, Brookhaven, USA: pag. 618.

IRAS ontdekt komeetstaart

Sinds de lancering van de Infrarood Astronomische Satelliet (IRAS) zijn er vier kometen ontdekt. Zeer opvallend was de komeet IRAS-Araki-Alcock, die begin mei de aarde op slechts 7 miljoen kilometer passeerde en goed met het blote oog gezien kon worden.

De infraroodbronnen die IRAS waarneemt kunnen ingedeeld worden in verschillende klassen, zoals objecten in ons zonnestelsel, sterren, interstellaire wolken en sterrenstelsels. De objecten in ons zonnestelsel vallen op doordat ze aan de hemel duidelijk bewegen. De IRAS-medewerkers van de universiteit van Leicester hebben speciale computerprogramma's ontwikkeld om uit de enorme hoeveelheid gegevens die IRAS dagelijks oplevert juist de bewegende infraroodbronnen te halen.

Een deel van deze bronnen was tot nu toe nogal geheimzinnig, want zelfs met de allergrootste optische telescopen werd er op die plaatsen niets gezien. Op 20 juli werd er echter een spectaculaire ontdekking gedaan: een aantal bewegende infraroodbronnen bleek bij elkaar in de buurt te staan. Een analyse van de voorlopige gegevens toonde aan dat ze op één lijn aan de hemel liggen, die uitmondt in de periodieke komeet, die gevormd werd toen de komeet begin juli de zon passeerde.

De temperatuur van het stof is enerzijds zo hoog dat er infraroodstraling wordt uitgezonden, maar anderzijds te laag om zichtbaar licht uit te zenden. Het zichtbare licht dat van kometen en hun staarten wordt waargenomen is gereflecteerd zonlicht. De infraroodstaart van komeet Tempel 2 is ruim 30 miljoen kilometer lang (dat is zo'n 80 keer de afstand aarde-maan) en extreem smal: de breedte bedraagt slechts 1 procent van de lengte.

De ontdekking van de staart is bijzonder, omdat deze komeet periodiek is met de betrekkelijk korte periode van 5½ jaar. Dergelijke kometen verliezen hun materiaal langzaam en bij iedere passage langs de zon worden ze slechts geleidelijk zwakker. Het materiaal dat ze wel verliezen wordt door de zonnewind (een stroom deeltjes die permanent door de zon in alle richtingen wordt uitgezonden) van de komeet geblazen.

Op dit moment wordt de komeet Tempel 2 intensief met optische telescopen onderzocht, om iets van een staart in het zichtbare licht te zien te krijgen. Tot nu toe zonder resultaat, maar misschien verandert dat als de stand van de komeetstaart ten opzichte van de zon en de aarde veranderd is, zodat wij meer van het door het stof gereflecteerde zonlicht opvangen. Komeet Tempel 2 passeert de aarde op ongeveer 150 miljoen kilometer en is niet met het blote oog te zien. Van vorige verschijningen van deze komeet, bijvoorbeeld die in 1967, is bekend dat de helderheid sterk toeneemt als de komeet de zon gepasseerd is. Het is nog niet bekend wat daarvan de oorzaak is, maar misschien brengt IRAS ons ook hier weer wat dichter bij een oplossing.

Door de vele IRAS ontdekkingen op het gebied van kometen wordt een bekende grap onder sterrenkundigen weer actueel: als er gezegd wordt: "Kometen", dan spitsen niet alleen gastronomen, maar ook astronomen hun oren!

W. Bijleveld

Gewapend ijs

Onderzoek bij de vakgroep Materiaalkunde van de afdeling Civiele Techniek van de TH Delft heeft aangetoond dat het mogelijk is natuurijs te versterken met een laag Colbond, een soort kunststofvezeldeken. Hierdoor zou het mogelijk zijn eerder te schaatsen; de nu geldende norm van een dikte van 15 cm voor een optimale veiligheid, kan worden verlaagd.

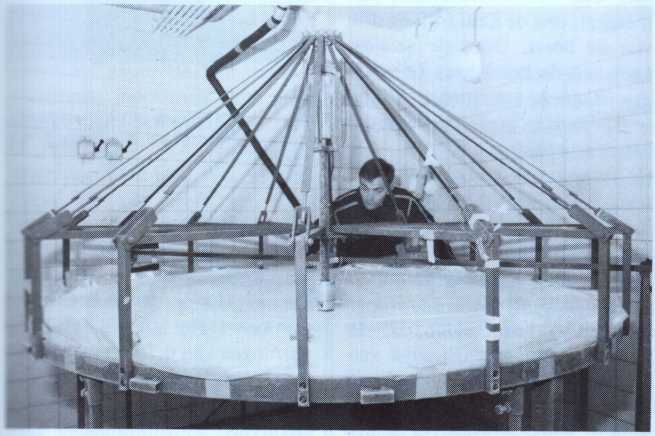
De Colbonddeken vindt normaal zijn toepassing in de wegenbouw. Hier wordt hij gebruikt om krachten, die op het wegdek worden uitgeoefend, te spreiden en zo ernstige kuilvorming tegen te gaan.

Voor dit onderzoek is onder leiding van ir. G.M. Sluimer een proefopstelling ontworpen met een ronde, in de lucht hangende, ijsplaat van ongeveer 2 meter in doorsnede en 5 cm dik. In het midden van de plaat wordt een drukkracht uitgeoefend, die evenals de door de kracht ontstane holling van het ijs tijdens de proef wordt gemeten. Hieruit valt de zogenaamde breuklast te berekenen. Uit het onderzoek is gebleken dat de breuklast van gewapend ijs 2 tot 3 maal zo groot is

als die van normaal ijs. Nadat het ijs is gescheurd kan de druk nog enigszins worden opgevoerd, eer de staaf door het ijs schiet.
Het bestuur van de Elfstedentocht, dat de proef bijwoonde, had veel interesse voor de resultaten, omdat dikwijls enkele zwakke plekken in het ijs de Elfstedentocht belemmerden door te gaan. Deze zwakke plekken zijn vooral te vinden onder bruggen, waar een stroomversnelling van het water plaatsvindt en op plaatsen waar veel mensen op ijs staan, zoals bij start en finish. Ook het Harinxkanaal, dat kort voor het verrijden van de Elfstedentocht nog voor scheepvaart toegankelijk moet zijn, vormde in het verleden een groot probleem. De altijd gehanteerde oplossing van polystyreenblokken, waaroverheen een ijslaag werd aangebracht voldoet maar in geringe mate. In de toepassing van Colbond ziet het bestuur van de Elfstedentocht een volledige oplossing voor de versterking van alle zwakke plekken in het ijs.

(Delta, TH Delft)

De machine waarin het gewapende ijs getest wordt. In het midden is de drukstaaf te zien, waarmee de sterkte van het ijs bepaald werd.



Levenslang dienstverband-systeem een vloek?

Japan's beroemde systeem van het 'levenslange' dienstverband, wijd en zijd beschouwd als de sleutel tot 's lands economisch succes, wordt zoiets als een vloek voor het Japanse bedrijfsleven. Het systeem werkte uitstekend in Japan's jaren van grote groei, omdat het de loyaliteit van de werknemer bevorderde en de produktie vergrootte. Maar vandaag de dag, midden in de wereldomvattende economische recessie, heeft het systeem miljoenen overtollige werknemers opgeleverd, die de Japanse bedrijven nu uit bittere noodzaak moeten afstoten.
De meeste industrieën in Japan worden in binnen- en buitenland geconfronteerd met een inzakkende vraag naar hun produkten en zien zich opgescheept met een leger van overtollige werknemers - de 'werklozen in de bedrijven'. Deze werknemers, zowel in fabriek als op kantoor, zouden in het Westerse sociale systeem zijn ontslagen, maar worden in het systeem van permanent dienstverband op de loonlijst gehouden. Bij de grotere Japanse bedrijven nemen de maatregelen toe om het aantal overtollige werknemers te reduceren door natuurlijk verloop, vacaturestop, overplaatsing naar dochtermaatschappijen. De pogingen van de bedrijven om al dan niet tijdelijke ontslagen te vermijden, vormen een van de redenen van Japan's opmerkelijke laag werkloosheidspercentage, dat vorig jaar steeg tot 2,4 procent, het hoogste sinds 1955.
Over de 'werklozen in de bedrijven', zijn geen statistieken, juist omdat hun toestand verborgen wordt. Om begrijpelijke redenen voelen bedrijven er weinig voor om problemen inzake hun overtollige werknemers te bespreken. Maar er bestaat maar weinig twijfel dat er miljoenen van deze mensen zijn onder de 56 miljoen Japanse werknemers. Een onderzoek onlangs door het Japanse zaken-weekblad 'Diamond' gehouden onder 610 grotere produktiebedrijven, toonde aan dat 72 procent daarvan op zijn minst een aantal overtollige werknemers had. Er waren 100 bedrijven met een overtolligheidspercentage van dertig en 133 met meer dan twintig. Het aantal overbodige werknemers in de onderzochte bedrijven werd geschat op 320 000. Dit is 12 procent van het totaal aantal werknemers in deze bedrijven (2¾ miljoen). In de jaren vóór de olie-crisis van 1973 – '74 hadden de meeste Japanse bedrijven de grote bloei als iets normaals beschouwd en bleven het aantal van hun werknemers dienovereenkomstig uitbreiden. Nu, geconfronteerd met een sterke achteruitgang in de wereldeconomie, zitten de bedrijven dus vast aan hun overtollige werknemers.

(Nieuws uit Japan)

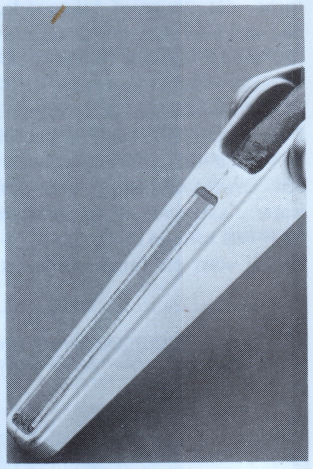
Bijen ook Darwinisten

De evolutietheorie van Darwin gaat ervan uit dat levende wezens ernaar streven om hun aandeel in de volgende generatie zo belangrijk mogelijk te laten zijn. Hij wees er daarbij op dat dieren bereid zijn om zich voor hun nakomelingen op te offeren.
Omdat steeds meer waarnemingen betreffende altruïsme en samenwerking bij dieren niet met deze theorie klopten, veronderstelde men dat dieren niet alleen hun nakomelingen, maar ook hun naaste verwanten, die veel genen gemeenschappelijk hebben, zullen helpen. Dat betekent dat ze wel hun verwanten moeten kunnen herkennen, iets wat bij zeg maar bijen niet zo evident is. Biologen te Berkeley ontdekten nu dat bijen in ieder geval onderscheid kunnen maken tussen zusters en halfzusters, zelfs als ze in dezelfde zwerm opgroeiden. Ze lieten daartoe een koningin bevruchten door twee niet aan elkaar verwante darren. Opdat ze zelf het verschil zouden kunnen zien, kozen ze darren die verschillend gekleurde nakomelingen zouden geven.
Het is voor werkbijen uiteraard evolutionair gezien interessanter om een volle dan een halfzuster tot koningin op te kweken als ze gaan zwermen. Alle vrouwelijke larven zijn immers genotypisch in staat om koningin te worden. Dit vereist wel een ingrijpen van de werksters vóór de derde dag. Ze zetten de larve op een ander dieet en brengen haar over in een grotere broedcel, de koninginnecel. Dit doen ze als de zwerm te groot begint te worden. De nieuwe koningin sticht dan met een deel van de oude zwerm een nieuwe. Al die bijen vliegen dan, met de koningin, uit. Ze gaan ergens als een tros hangen, tot verkenners een nest gevonden hebben. Het zijn deze trossen die door imkers gevangen worden.
De onderzoekers keken wat gebeurde als bij een groep van tien zusters een nieuwe werkbij gezet werd. De bijen waren veel agressiever tegen de halfzusters dan tegen volle zusters. Hoe de herkenning gaat moet wel nog uitgemaakt worden.

(Nature)

Ultrageluid in de geneeskunde.

Ultrageluid wordt al geruime tijd toegepast in de medische diagnostiek. Bekend is de echografie van de baarmoeder bij zwangere vrouwen en van de schedelholte na een zware slag, op zoek naar bloeduitstortingen. Het grote voordeel is dat ultrageluid de schadelijke nevenwerkingen van röntgen- of andere hoog-energetische straling niet heeft.
Ook mammografie (borstonderzoek) kan met deze techniek. De overdracht van de golven gebeurt dan via een watervat, afgesloten met een rubbermembraan, dat meegeeft met de natuurlijke vorm van de borst. Door de geluidsbron om de borst heen te bewegen kunnen doorsneden vanuit verschillende projectierichtingen worden verkregen.
Er is ook een reeks miniatuurtransducers ontwikkeld waarmee men in het menselijk lichaam kan werken. Ze kunnen met een normale endoscoop of cytoscoop in het lichaam gebracht worden en laten doorsnedebeelden uit lichaamsholten toe. Er zijn verschillende versies voor gebruik via de slokdarm, gebruik via vagina of anus, gebruik via de urinewegen en voor gebruik bij operaties.



Een van de nieuwe ultrageluidstransducers. Het geheel is slechts 5 mm breed.

Bij de ultrasoonfrequentie van 7 MHz wordt een doordringend vermogen van vijf tot zeven cm bereikt. Het doorsnedebeeld is 32 mm breed. Het lateraal oplossend vermogen van 0,7 mm en het axiaal oplossend vermogen van 0,2 mm blijven constant in het gehele beeldvlak.

(Persbericht Siemens)

Monolaag

Israëlische onderzoekers hebben een nieuwe techniek ontwikkeld om monomoleculaire lagen te maken, of liever om die lagen zichzelf te laten maken. Dit soort lagen komt steeds meer in de belangstelling te staan. Van weten-

schappelijke curiosa zijn ze technisch belangrijk geworden, bijv. in de chips-industrie en als membranen. Tot nu toe gebruikte men een archaïsche techniek uit de jaren dertig, in feite dezelfde als bij zeepbellen blazen. Hoewel Langmuir en Blodgett indertijd met deze eenvoudige techniek prachtige resultaten boekten (Langmuir kreeg er in 1932 de Nobelprijs chemie voor), komt deze verbetering wel op tijd.

Als men met de klassieke techniek bijv. een monomoleculaire laag olie wil maken, dan gaat dat als volgt: men giet de olie op water, waar ze zich uitspreidt. Dan wordt de olievlek met een geparrafineerd papier naar een kant van de waterbak gedreven. Dat kost (een beetje) kracht. Op het moment dat de losse moleculen allemaal 'mannetje aan mannetje' staan, moet men plots meer kracht gebruiken om de vlek nog te verkleinen. We hebben een aaneengesloten laag van één molecule dik. (Zo heeft men trouwens voor het eerst een idee gekregen van de afmetingen van een molecule: het volume van de olie, gedeeld door de oppervlakte van de laag, gaf de dikte van die laag.)

Het bedekken van een voorwerp met zo'n laag gebeurt door simpele onderdompeling, zoals bij het bellen blazen. Men kan zo zelfs verscheidene lagen aanbrengen. Dit gaat echter traag, is moeilijk bij grotere of ingewikkelde oppervlakken en geeft niet altijd een film met de juiste structuur.

De nieuwe films hechten zich aan oppervlakken met hydroxylgroepen ($-OH$), zoals glas. De onderzoekers kozen een molecule met één reactieve kant, namelijk $-Si(OH)_3$, en een inerte kant, een eindstandig alkeen ($-CH_2=CH_2$). Het middenstuk was in dit geval een lange alkaanketen. De structuur van het middenstuk bepaalt die van de film.

Het handige is dat de $-Si(OH)_3$ groepen niet alleen reageren met de $-OH$ van de drager, maar ook met een van de hydroxylgroepen op de kop van een buurman, zodat zich een hechte laag vormt. Bovendien kan de alkeengroep aan de staart chemisch weer omgezet worden in een hydroxyl, zodat een nieuwe laag kan aangebracht worden. De Israëli's konden al drievoudige lagen maken, hoewel die een kwart minder dicht zijn dan enkele.

(New Scientist)

Luizige aardappels

Men heeft een wilde aardappelsoort ontdekt die een nieuwe manier gebruikt om zich de luizen van het lijf te houden. De plant scheidt namelijk het feromoon uit dat de luizen als alarmsignaal gebruiken.

Feromonen zijn tussen individuen wat hormonen zijn in een individu: chemische stoffen die in kleine concentratie afgescheiden worden en op een andere plaats een automatische reactie oproepen. Zodra een individu aangevallen of gewond wordt, scheidt het een alarmferomoon uit, waardoor al zijn soortgenoten meteen op de vlucht slaan. Zo zijn er ook geslachtsferomonen, die leden van de andere sexe naar een paringsrijp individu leiden. De mens gebruikt deze feromonen, die heel specifiek zijn voor elke diersoort, voor verdelgingsdoeleinden. Het is echter de eerste maal dat een plant gevonden wordt die hetzelfde truukje gebruikt.

De plant in kwestie, *Solanum berthaultii*, staat bekend als zeer resistent tegen luizen, mijten en thripsen. De resistentie komt van de haartjes op de bladeren, die de wilde plant wel nog heeft, maar de gecultiveerde niet meer. Er zijn twee soorten haartjes. De korte hebben een kop met vier lobben, die bij contact afbreekt en een vloeistof afgeeft die heel snel stolt. De langere haren scheiden een kleverige stof af. Onvoorzichtige insekten worden door beide samen effectief geïmmobiliseerd.

Dit blijkt nu echter pas de tweede verdedigingslinie te zijn. De kleverige stof uit de lange haren bevat (E)-B farneseen, het hoofdbestanddeel van het alarmferomoon van de meeste soorten luizen. Toen de onderzoekers dit eenmaal wisten bliezen ze lucht uit een spuit die bladeren van *Solanum berthaultii* bevatte, over een groep van 99 luizen. 54 sloegen op de vlucht. Bij een analoge proef met *Solanum tuberosum*, de gekweekte soort, werd slechts één op 113 luizen iets gewaar. Van 48 luizen die men dicht bij aardappelbladeren bracht, waagden zich slechts 4 op *S. berthaultii*, terwijl er 34 op *S. tuberosum* gingen rondkuieren.

Ondertussen is men er al in geslaagd om hybriden te kweken van *S. berthaultii* met verschillende cultuurvariëteiten. Men hoopt zo het goede gen (of genen) in de cultuurplanten te kunnen kruisen.

(Nature)

Stereografische koepel

Een ruimte overdekken kan gebeuren op meerdere manieren: meestal gebruikt men een plat of schuin dak. Deze types overdekking worden verkozen omwille van hun eenvoud. Het gebruik van schaaldaken wordt slechts zelden toegepast wegens het gebrek aan know-how en hun vermeende hoge prijs. Toch bieden schaaldaken voordelen welke

voor iedereen duidelijk zijn: ze zijn estetischer, men kan kleine tot zeer grote ruimten overdekken zonder tussensteunen en het benodigde materiaal is minimaal. Het model dat verwezenlijkt werd en in het Laboratorium Reyntjens is tentoongesteld, weegt slechts 120 kg voor een overdekking van 18 m^2. Het is vervaardigd in betonflexplaten van 4 mm dikte. Een bolkap, vierzijdig schuin afgesneden volgens vlakke cirkelbogen, is benaderd door middel van vierhoekige platen welke diagonaal geschikt zijn ten opzichte van de vierkante basis. De ligging van de hoekpunten van deze vierhoekige platen werd verkregen door de knopen van een horizontaal vierkant traliewerk met mazen te projecteren op een bol vanuit de nadir (zuidpool) van dezelfde bol. De hoekpunten van het beschouwde traliewerk zijn tevens de hoekpunten van de schaal.

Deze projectie noemt men een stereografische projectie, vanwaar de naam: stereografische koepel. Dit principe is algemeen toepasbaar en is verantwoordelijk voor het zeer uitgebalanceerde en rustige uitzicht. Bij de verwezenlijking van het model werd intensief gebruik gemaakt van de computer. Alle panelen en alle zijvlakken ervan werden met deze getekend, omdat er van elk paneel slechts vier identieke terug te vinden zijn in de structuur. Dezelfde geometrie kan ook verwezenlijkt worden als staafstructuur door gebruik te maken van profielstaven. De knopen zijn dan eenvoudiger van vorm omdat er slechts vier staven samenkomen in elke knoop.

Prof. dr. ir. M. van Laethem
Dr. ir. E. Backx
Kath. Universiteit Leuven

Postduiven vliegen hun neus na

Postduiven hebben een goede neus voor de juiste koers: op een afstand van zelfs 700 km dient hun reuk als onontbeerlijk orientatiemiddel op hun retourvlucht naar huis. Al in 1971 werd dit door zoölogen van de Universiteit van Pisa waargenomen, maar nu is dit door uitgebreide experimenten van het Max-Planck-Instituut voor Vergelijkende Fysiologie bevestigd. Men vermoedt dat de duiven in de atmosfeer verschillende sporestoffen ruiken en daarvan gebruik maken om in den vreemde de richting van hun standplaats te bepalen. Om welke stoffen het daarbij gaat, is echter nog een raadsel.

Aan het begin van de jaren vijftig en de jaren erna werd bekend dat postduiven evenals de meeste trekvogels de zon en ook het aardmagneetveld als kompas gebruiken. Maar daarnaast moet je ook weten waar je op een bepaald ogenblik bent, relatief ten opzichte van je standplaats, om het 'kompas' goed te kunnen gebruiken.

Nu bleek in 1971 volgens het team van Prof. Floriano Papi dat duiven niet meer naar huis terug konden vliegen, als hun reuk werd uitgeschakeld. Toch hebben duiven een slechte tot matige reukzin en kunnen (ook fysisch) hun 'thuis' niet ruiken. Sommigen dachten daarom dat uitschakeling van de reukzin de duiven zo in de war bracht dat ze gewoon ergens onderweg verdwaalden. Anderen meenden dat de duiven uit de windrichting de geurtjes van meren, bossen, velden en bergen een soort mozaïekachtige geurtjes-landkaart opbouwden. Zo'n landkaart wordt al vliegend opgebouwd en bestaat dus alleen uit de omgeving van het hok.

Het team van het Max-Planck-Instituut voor Vergelijkende Fysiologie heeft in samenwerking met collega's van de Universiteit van Pisa duidelijk aangetoond dat duiven vooral op grotere afstanden afhankelijk van hun neus zijn.

Men heeft daartoe op verschillende plaatsen duiven losgelaten en de richting waarin ze wegvlogen als 'thuisorientatie' geregistreerd. Ook de vliegtijd en de plaats waar niet-teruggekeerde duiven gevonden zijn, werden er ook bij betrokken. Bij duiven waarbij

Dr. Silvano Benvenuti van de Universiteit van Pisa registreert de starttijd van een duif. Deze tijd is belangrijk voor de terugmelding van de duiven. (Foto: MPG/Filser)

de reukzin op een of andere manier uitgeschakeld werd, vonden op afstanden van meer dan 50 km de weg naar huis niet meer. Ook bij het loslaten hadden ze vrijwel geen 'thuisorientatie'.
Ook werden twee groepen duiven tijdens het transport en de paar uur voor de lossing in luchtdichte kasten vervoerd, waarvan de omgevingslucht bij de ene wel en bij de andere niet gefilterd werd. Op de losplaats werd van alle duiven de reukzin tijdelijk uitgeschakeld, zodat ze alleen op de informatie opgedaan tijdens de reis konden afgaan. Het bleek dat deze voor de controlegroep voldoende was om de koers naar huis te bepalen, terwijl de andere groep dat niet kon. Toch bleek dat de vogels niet louter afhankelijk zijn van deze onderweg opgepikte lucht maar dat de vogels alleen al aan de 'lucht' van hun losplaats de thuiskoers kunnen bepalen.
Hiermee is nog geen antwoord gegeven op de vraag wat de duiven nu eigenlijk ruiken en op welke manier. Men denkt, voorzichtig, aan een verdelingsgradient van stoffen over geheel Europa, ook boven de Alpen. Met statische analyses van luchtmonsters in de Bondsrepubliek hoopt men in samenwerking met het Max-Planck-Instituut voor Chemie een antwoord hierop te kunnen geven.

(Persbericht Max-Planck-Gesellschaft, München)

Zijn wij toch alleen?

Het heeft eeuwen geduurd voor de mens begon in te zien dat onze aardbol niet het middelpunt van het heelal was, zelfs niet van ons zonnestelsel, maar slechts een onbetekenend stofje rond een derderangszonnetje in de buitengebieden van een onopvallende melkweg. Er moeten talloze planeten als de onze bestaan. Of niet? L.S. Macochnik, lid van de Russische Academie van Wetenschappen, zet dat nu op losse schroeven.
Het probleem zit hem in de spiraalstructuur van de meeste melk-

De koers van losgelaten duiven wordt totdat hij uit het zicht verdwijnt bepaald. Links de transportkisten, waarvan er twee d.m.v. actieve koolfilters van de buitenlucht waren afgesloten. Alleen de duiven die onderweg 'luchtjes' hadden kunnen ademen kozen de juiste thuiskoers. De andere kozen een willekeurige koers. (Foto: MPG/Filser).

wegen. Als die een gevolg zou zijn van de middelpuntvliedende kracht zouden de spiraalarmen onderhand al een paar honderd maal gewonden zijn. In realiteit is het aantal windingen nooit meer dan twee. Eind van de jaren zestig werd dit opgelost door de spiraalarmen te beschouwen als buiken van dichtheidsgolven.
Die dichtheidsgolven draaien rond het galactisch centrum en persen dus het galactische gas periodiek samen. Deze drukzones zien wij dus als de spiraalarmen. Ook de aarde passeert dus regelmatig door die dichtheidsgolf. Tenminste dat denkt men.
Volgens Macochnik verkeert ons zonnestelsel echter in de unieke situatie om net even snel te draaien als die golf. Wat zou betekenen dat het aantal zonnestelsels in het universum dat in vergelijkbare omstandigheden verkeert als het onze, dramatisch zou verminderen. En dus ook de kans op leven op die planeten.
President Reagan krijgt dus uit onverwachte hoek steun voor zijn beslissing om de kredieten op te schorten voor Carl Sagan, die al jaren luistert naar signalen van leven uit de ruimte.

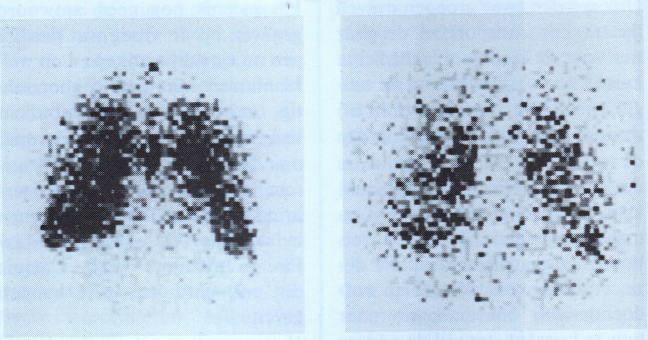
(Science et Avenir)

Verschillen in vernevelaars

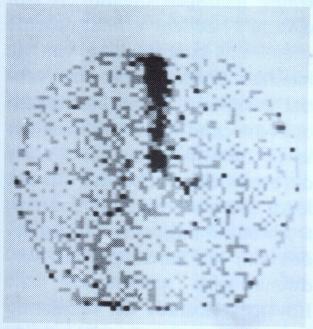
Bij aandoeningen van longen en luchtwegen kan het nuttig zijn geneesmiddelen direct daar te brengen in plaats van ze langs de omweg van doorslikken, absorptie in de darm en transport via het bloed naar de plaats van bestemming te sturen. Een voorbeeld is het geneesmiddel cromoglycaat, dat wordt toegepast bij allergische vormen van astma. Cromoglycaat moet worden ingeademd, zodat het direct in het ademhalingsstelsel komt. Omdat het zich in een oplossing bevindt, moet die oplossing eerst fijn verdeeld worden over de ingeademde lucht. Dit gebeurt met een vernevelaar. Aan de vernevelaar zit een mondstuk of een gezichtsmasker, waarmee de nevel kan worden ingeademd zonder dat er verliezen optreden. (Er bestaat ook cromoglycaat in de vorm van een vaste stof, die op iets andere wijze wordt ingeademd.)
De in allergische aandoeningen gespecialiseerde ziekenhuisapotheker dr. L.O.M.J. Smithuis heeft samen met dr. R.A. Foulds, die werkzaam is bij de fabrikant van het cromoglycaat, de werking van drie vernevelaars onderzocht. Zij mengden door de cromoglycaatoplossing een kleine hoeveelheid radioactief technetium, lieten drie vrijwilliegers met elk van drie vernevelaars de oplossing inhaleren en bepaalden vervolgens in welke organen de radioactieve stof was terechtgekomen. De resultaten publiceerden zij in het eind april verschenen nummer van de Scientific Edition van het Pharmaceutisch Weekblad.
De foto's geven een indruk van de resultaten bij een van de vrijwilligers. Met een van de vernevelaars komt het technetium duidelijk in de longen terecht; bij de tweede is dat ook het geval, al is de hoeveelheid beduidend minder; bij de derde lijkt de radioactieve stof zich vooral in de slokdarm te bevinden, waarschijnlijk doordat de stof in de mond is blijven steken en vervolgens is doorgeslikt. Bij de eerste vernevelaar wordt 53 tot 74 procent van alle radioactiviteit in de longen teruggevonden; bij de derde is dat minder dan 1 procent en wordt meer dan 90 procent aangetroffen in de omgeving van mond, neus en keel.
Ook de druppelgrootte van de nevels is onderzocht, waarbij bleek dat de vernevelaar die het best in staat is cromoglycaat in de longen te brengen, de kleinste druppels produceerde en omgekeerd. Dit verband ligt voor de hand, want hoe fijner de druppels, hoe beter ze in de luchtstroom blijven zweven (net als bij mist), terwijl grotere druppels al eerder, bijvoorbeeld in de mond, zullen 'uitzakken',

A.K.S. Polderman

De donkere plaatsen in de longen geven aan dat radioactief technetium uit een geneesmiddeloplossing aanwezig is. Er bestaan duidelijke verschillen in hoeveelheid en plaats van het technetium.



(Foto's: L.O.M.J. Smithuis/Pharmaceutisch Weekblad).



Vet zonder calorieën

In de strijd om de slanke lijn kan over enige tijd wellicht een nieuw middel worden geworpen. Een Amerikaanse firma is erin geslaagd een vet te ontwikkelen dat geen calorieën levert. Op de universiteit van Cincinnati worden op het ogenblik uitgebreide proeven met het 'kunstvet' gedaan.

Suiker en vet leveren energie, brandstof, voor het lichaam. Hoewel een 'matig' (in verhouding tot lichaamsbouw en activiteit) gebruik van suiker en vet zeker niet schadelijk is en de slankelijnrage volgens veel onderzoekers eveneens bedenkelijke kanten heeft, wordt in de westerse landen over het algemeen te veel suiker en te veel vet geconsumeerd. Te veel suiker en vet maken dik. Suiker is slecht voor de tanden en in landen waar veel vet wordt gegeten, lijden volgens een recent rapport van de voedingsraad, meer mensen aan hart- en vaatziekten.

Veel mensen hebben echter, om welke reden dan ook, behoefte aan vette of zoete etenswaren. Vervangingsmiddelen trachten in deze behoefte te voorzien terwijl ze de nadelige gevolgen van natuurlijk vet en suiker ondervangen.

Al sinds het begin van deze eeuw zijn kunstmatige zoetstoffen (sacharine, cyclamaten) bekend. De overmaat aan calorieën in ons dieet kan misschien over enige tijd ook van de andere kant worden aangevallen: de Amerikaanse firma Procter & Gamble is doende een stof te ontwikkelen die vetten in het eten zou kunnen vervangen. Vet levert per gram ruim twee keer zoveel energie als suiker.

Vetten en oliën zijn verbindingen (in scheikundig jargon: esters) van een bepaald soort alcohol, namelijk glycerol, met vetzuren als boterzuur, oliezuur of linolzuur. Het door Procter & Gamble ontwikkelde vet gaat uit van suiker in plaats van glycerol. Deze sacharose wordt dan met een groot aantal vetzuren verbonden – veresterd – en zo ontstaat sacharose-polyester. Het klinkt als plastic, maar het is een vettige, eetbare olie. De werking van het sacharose-polyester (SPE) berust op het feit dat het lichaam alleen ingericht is op het afbreken van kleine esters en niet van polyesters. SPE verlaat dus, net als sacharine, 'onafgebroken' het lichaam en levert derhalve geen calorieën.

De stof wordt op het ogenblik verder getest door Procter & Gamble, in samenwerking met onderzoekers van de universiteit van Cincinnati. Vastgesteld moet worden bij wie de stof werkt, of hij werkelijk niet is te onderscheiden van echte vetten en wat de gunstige bijwerkingen van de stof zijn. Een subtiel experiment hiertoe werd medio '82 door de onderzoekers beschreven in het wetenschappelijk tijdschrift American Journal of Clinical Nutrition. Zij kozen een groep van tien veel te dikke mensen, wier vetzucht niet was te wijten aan een ziekte, die dertig tot honderdvijftig procent boven hun ideale gewicht zaten, ofwel twintig tot honderdtien kilo te zwaar waren. Bij de proefpersonen werd in de eerste week precies vastgesteld hoeveel calorieën zij nodig hadden om op gewicht te blijven. In de proefperiode van veertig dagen kregen zij zestig procent daarvan, met de mogelijkheid dit nog eens aan te vullen tot 120 procent van hun behoefte met chocola, chips, cola of wat verder van hun gading was.

Twintig van de veertig dagen kregen zij een dieet waarin het gewone vet vrijwel geheel door SPE was vervangen. Daardoor ontstond een besparing van gemiddeld 129kJ (540 kcal) per dag. Interessant is nu, dat geen van de proefpersonen merkte of SPE dan wel vet werd voorgeschoteld, maar bovendien dat in beide perioden evenveel werd gesnoept: het door SPE veroorzaakte tekort aan calorieën werd niet aangevuld. De proefpersonen verloren dan ook in de tijd dat ze SPE kregen, ruim een kilo meer dan in de andere twintig dagen. In totaal raakten de proefpersonen tussen de vijf en zeven kilo kwijt tijdens het gehele experiment, zonder zich ooit extra hongerig te hebben gevoeld.

De onderzoekers zijn op het ogenblik bezig de gegevens te verwerken van een gelijksoortig groter experiment, waarin zestig vrijwilligers acht maanden lang werden gevolgd. Een belangrijke vraag die bijvoorbeeld nog beantwoord moet worden is, hoe minder dikke mensen met de stof zullen omgaan. Het is nog onduidelijk of ook mensen die hoogut tien kilo te zwaar zijn, zich door het SPE laten 'foppen'. Het zou kunnen dat deze mensen zich meer richten op de hoeveelheid calorieën die ze binnen krijgen dan op de hoeveelheid voedsel.

Met andere woorden, zij zullen het calorieëntekort misschien wel gaan aanvullen. In dat geval zou de praktische gebruiksmogelijkheid van SPE beperkt blijven tot vermageren onder dokterstoezicht waarbij mensen snel veel afvallen. Mensen die alleen wat slanker willen worden, vinden er geen baat bij.
Een onverwacht bijverschijnsel van SPE is nog, dat de stof cholesterol opneemt, waardoor het cholesterolgehalte in het bloed afneemt. De eerste proeven hiermee zijn echter niet erg hoopgevend. Ook als vet voor bijna de helft wordt vervangen door SPE neemt het cholesterolgehalte in het bloed slechts een paar procenten af. Deze onderzoeksresultaten werden in maart 1983 bekend.
In ieder geval klinkt het sacharose-polyester als een interessant alternatief voor onze voedingsvetten, al zal het nog wel even duren voor het op de markt komt. Of het dan, als 'kunstvet', de slag met de dierlijke en plantaardige vetten aankan, zal moeten worden afgewacht.

Hans van Maanen
De Letter W

Aardgodin

Onze maatschappij is in diverse opzichten te vergelijken met een levend organisme. De wijsgeer Plato schreef al: "Een goed bestuurde staat dient als een enkel organisme te functioneren, zodat als één van de burgers goed of kwaad ondervindt, hij zijn vreugde of pijn kan delen met het geheel."
Later kwam deze gedachte terug in een rede die de Romeinse senator Merenius Agrippa in het jaar 494 v. Chr. richtte tot het volk van Rome dat in opstand was gekomen tegen zijn koning. "Eens was een tijd dat de ledematen van de mens niet zoals nu samenwerkten en een geheel vormden, maar elk lichaamsdeel zijn eigen gang ging", verteld Agrippa. "Op den duur begon het de lichaamsdelen te vervelen dat de maag door hun zorgen en moeite van alles kreeg aangeboden en zelf rustig alle lekkere hapjes tot zich nam zonder er verder iets voor te hoeven doen. Daarom spraken zij af, dat de handen geen voedsel meer naar de mond zouden brengen en ook de mond en tanden de dienst zouden weigeren. Maar spoedig bleek dat zij door de maag te treffen, ook zichzelf benadeelden en dat de ledematen zelf en ook de rest van het lichaam wegkwijnden."
Aldus Merenius Agrippa, die vervolgens de verzamelde menigte waarschuwde dat de koning de maag was van de Staat en dat als de burgers de koning zouden doden, zij ook hun eigen leven onmogelijk zouden maken. Zijn rede maakte indruk, want het volk van Rome zag af van de burgeroorlog en keerde rustig naar huis terug.
Een vergelijking tussen de maatschappij en het menselijk lichaam werd later ook gemaakt door de Engelse filosoof Herbert Spencer, die parallellen trok en bijvoorbeeld de bloedbanen van het lichaam vergeleek met de rivieren en wegen van een land.
Enkele jaren geleden verscheen van de hand van de Engelse chemicus James Lovelock een boek getiteld: 'Gaia, a new look at Life on Earth', waarin de schrijver stelde dat het leven op aarde te zamen te beschouwen is als een enkel reusachtig organisme. Lovelock kwam tot deze opmerkelijk conclusie op grond van verfijnde metingen die hij en zijn collega's hadden verricht naar de chemische samenstelling van de biosfeer. Er bleek daarin een subtiel evenwicht te bestaan tussen opbouw en afbraak van voor het leven onmisbare stoffen. Ware dit evenwicht er niet, dat was het leven niet mogelijk; het zou dan trouwens al miljoenen jaren geleden van het aardoppervlak verdwenen zijn.
Lovelock noemde het reusachtig levend organisme dat zich om de aardkorst heeft gewenteld Gaia, naar de oud-Griekse aardgodin. Volgens de mythologie ontstond deze godin vanzelf uit de Chaos. Bij Uranus, de hemelgod, werd zij de moeder der Titanen, Cyclopen en Hecatonchiren; ook andere monsters zoals de Erinyen en Giganten werden als haar kinderen beschouwd. Het attribuut van de godin Gaia is gewoonlijk de hoorn des overvloeds, terwijl vaak bloemen of vruchten in haar schoot liggen.
Men kan zich natuurlijk de vraag stellen of Lovelock's Gaia wel als 'levend organisme' beschouwd mag worden. De levende organismen die wij op aarde kennen zijn alle opgebouwd uit cellen, dus als Gaia ook zo'n organisme was zou ook zij uit cellen moet bestaan. Wie zijn dan haar cellen? Lovelock zou hier ongetwijfeld op antwoorden dat elk individu dat op aarde rondloopt, kruipt, vliegt of alleen maar staat, een cel is van de aardgodin. Maar als men dit aanneemt, stuit men onmiddelijk op een belangrijk probleem. De cellen van een mens, dier of plant bevatten elk een beetje DNA en dit bepaalt de eigenschappen van die cel. Binnen elk individu hebben alle cellen hetzelfde soort DNA, maar

het DNA verschilt tussen individuen onderling en dat van de mens is bijvoorbeeld sterk verschillend van dat van een mier.
Keren we nu terug naar Gaia, dan zien we dat háár cellen onderling wél verschillen wat betreft DNA, dus dat ze wat dit betreft eigenlijk niet als een enkel individu beschouwd zou mogen worden. Kortom, als we een levend organisme definieren als een verzameling cellen met identiek DNA, dan is Gaia geen levend organisme. Maar we kunnen ook onze definitie wat ruimer stellen door onder een organisme te verstaan elke verzameling levende bestanddelen die een gemeenschappelijk doel nastreeft, namelijk behoud en voortbestaan van die verzameling. Maar als we dit doen, dan is een bos ook een levend organisme.
Als Gaia bestaat, hoe is ze dan ontstaan? Het is niet eenvoudig op deze vraag een antwoord te geven. De meeste geleerden nemen aan dat de eerste levende wezens miljarden jaren geleden op aarde ontstonden uit levenloze materie. In die tijd zouden de wereldzeeën gevuld zijn met organisch materiaal waaruit door fotochemische reacties de eerste levende moleculen zouden zijn ontstaan. Als deze theorie juist is, zou Gaia dus geboren zijn in die oersoep ten gevolge van een chemische reactie. Er zijn echter ook enkele geleerden (de bekene astronoom Fred Hoyle is er één van) die het niet met deze opvatting eens zijn. Zij geloven dat het leven op onze aarde ontstond doordat enkele zaadjes uit de wereldruimte op onze planeet neerdaalden en ontkiemden. Als dit waar is, hadden de oude Grieken dus gelijk toen ze zeiden dat Gaia (de Aarde) het zaad van Uranus (de Hemel) ontving.
Voor de volledigheid is het misschien aardig te vermelden dat volgens diezelfde oude Grieken Uranus niet van Gaia kon afblijven en maar steeds met haar wilde paren. Gaia heeft toen in overleg met haar jongste zoon Kronos besloten hem te ontmannen en gebruikte daartoe een halve maan-vormige sikkel. Het lid viel in zee in de buurt van het eiland Cythera en uit dat schuim van de zee werd toen Aphrodite, de godin der Liefde geboten. Hoe we deze gebeurtenissen eventueel in termen van de moderne wetenschap moeten verklaren, is vooralsnog niet duidelijk.

Mels Sluyser

Magnetische stroommeter

De stroom in een elektrisch circuit meten zonder bepaalde verbindingen los te maken of de isolatie te verbreken, dat is nu mogelijk, althans volgens een team van het Institute of Science and Technology van de University of Manchester.
Het idee is gebaseerd op het Hallprincipe. Een elektrische stroom in een draad veroorzaakt een magnetisch veld daaromheen. De ontwikkelde digitale 'ammeter' meet dit veld aan de hand van het Hall-effect dat in een halfgeleider hiervoor ontstaat. Dus deze meter meet 'op afstand', zodat het circuit niet belast wordt. Dit in tegenstelling tot metingen, waar door de interne weerstand van de meter, interferentie met hetgeen gemeten wordt kan ontstaan.

(New Scientist)

"Een meisje graag, dokter"

Het is een oude droom van de mensheid om het geslacht van een kind op voorhand te weten, of zelfs te bepalen. Het is al lang bekend dat een Y-chromosoom lichter is dan een X-chromosoom. Dus is de Y-zaadcel voor een jongetje wat lichter, en dus sneller, dan die voor een meisje. Jongetjes zijn echter iets minder levensvatbaar en dat compenseert mooi voor het hogere aantal mannelijke bevruchtingen.
Later ontdekte men dat de Y-zaadcellen zich beter voelden in een basisch milieu, de X-cellen in een zuur milieu. Pogingen om de zuurgraad van de weg van de zaadcel te beïnvloeden via dieet of irrigatie, waren echter niet succesvol.
Nu hebben Japanners ontdekt dat X- en Y-zaadcellen een andere elektrische lading hebben en dus door elektroforese gescheiden kunnen worden. Zij waren in staat om 100 procent zuiver X en 83 procent zuiver Y te krijgen. Slechts enkele zaadcellen overleven echter de behandeling en het is nog de vraag of ze nog goed functioneren.
Hoewel het vrij kunnen kiezen van het geslacht van kinderen een hoop etische problemen geeft, kan het van belang zijn voor geslachtsgebonden erfelijke ziekten, zoals bloederziekte (hemofilie), Hunter-syndroom, Lesh-Nyhan-syndroom en kleurenblindheid.

(New Scientist)

Moederlijk instinct

Bepaalde, vrij rondzwevende spinnen-soorten, zooals b.v. de wolfsspin, dragen, zooals men weet, hun eieren in een zakvormig spinsel aan de onderzijde van hun onderlijf met zich mede. E. Rabaud heeft nu door middel van interessante experimenten het moederlijke instinct van zulke spinnen-wijfjes nagegaan. Zoo bleek b.v., dat spinnen, welke men haar eieren had afgenomen, de eerste de beste eier-zak, die in hun nabijheid werd neergelegd, wegroofden, terwijl twee wijfjes, die hetzij beiden, hetzij géén van beiden eieren bij zich droegen, van elkaar wegvluchtten. Bracht hij daarentegen twee wijfjes bij elkaar, van welk hij één de eieren had weggenomen, doch ze het àndere had laten houden, dan ontspon zich onmiddellijk een verwoed gevecht om het bezit van het pakje eieren! Zulk een gevecht eindigde vaak met den dood van één der twee. Daarentegen legden spinnen, die op natuurlijke wijze eierloos waren geworden en nog slechts een stuk van den bevestigingsdraad met zich mede droegen, géén belangstelling aan den dag voor ,,andermans'' eieren.

Verouderde hersenen

Zooals men weet, heeft Hugo Ribbert met groote beslistheid het standpunt ingenomen, dat de natuurlijke dood een hersendood is (degeneratie der gangliën-cellen). Weyer heeft de hersenen van werkbijen onderzocht en aangetoond, dat deze dieren den ,,hoogen'' leeftijd van 62 dagen kunnen bereiken. Als regel treden bij werkbijen van 5 à 6 weken oud degeneratieverschijnselen op in de gangliën-cellen, zonder dat de hersenfunctie daardoor geleidelijk verzwakt; deze functie ging tenslotte, d.w.z. op hoogen leeftijd, zeer snel te gronde. Onderzoeker neemt dan ook aan, dat de degeneratie der gangliën-cellen geen óórzaak is van den dood, doch het gevòlg van een algemeene physiologische doodsoorzaak.

Het uur

De Zwitsersche arts Ed. Jenny, Aarau, heeft getracht eenig inzicht te krijgen in de periodieke invloeden van het uur van den dag op geboorte en dood. Hij verzamelde gegevens over het juiste uur van 350.106 geboorten gedurende de jaren 1926-1930. Duidelijk bleek uit de door hem aangelegde curven, dat deze tegen middernacht snel stijgen, om dan tusschen 2 en 5 uur 's nachts hun hoogste punt te bereiken; daarna daalt het aantal geboorten, eerst langzaam, daarna – zoo na den middag – snel, om in den namiddag het laagste punt te bereiken. Het minimum lag bij 5 uur 's middags met 12.257 en het maximum bij 5 uur 's morgens met 17.254 gevallen, een verschil van dus ± 40% ten aanzien van het maximum. Onderzoeker verklaart dit uit de veranderingen der lichaamstemperatuur en andere factoren en het daarmee samenhangende optreden van weeën. Ten aanzien van het sterfuur bleek den onderzoeker, dat de dood na operatie bij voorkeur 's nachts en wel vooral te middernacht, intreedt, bij buikvliesontsteking tusschen 5 en 6 uur 's avonds, bij voedingsstoornissen van zuigelingen tusschen 5 en 6 uur 's morgens, bij tuberculose tusschen 1 en 2 uur 's nachts. Er zijn twee stroomingen ter verklaring, nl. kosmische (draaiïng der aarde om haar as) en atmosferische (luchtdruk en temperatuur i.c.).

Voet niet meer 'klassiek'?

Op antieke beelden wordt de menschelijke voet zóó afgebeeld, dat de tweede teen langer is, dan de eerste, in tegenstelling met tegenwoordig, nu als regel het omgekeerde het geval is. Langen tijd heeft men gemeend, dat de Griekse kunstenaars in dit opzicht geïdealiseerd hadden terwille van de aesthetica. De Hongaarsche palaeobioloog G.J. von Féjérváry heeft thans de voetskeletten van den Mensch uit het steenen tijdperk, benevens van Egyptenaren, middeleeuwsche bewoners van Zuid Amerika, enz. onderzocht en daarbij bevonden, dat in vroeger tijden de tweede teen van den menschelijken voet inderdàad langer is geweest, dan de eerste. De verandering, die zich heeft voltrokken in den loop der eeuwen, moet dan ook worden bezien uit een oogpunt van adaptatie (aanpassing).

Parasitaire kreeftjes

E. Korschelt wijst op een bepaald soort kreeftjes, die zich in hun jeugd op het schild van zeeschildpadden vastzetten en daar een gat in boren. In de lichaamsholte van het dier treft men dan de kreeftjes aan, die door hun gastheer zijn ingekapseld. Ook in zeesterren komen zij voor; de onderzoeker vond zelfs in één enkel exemplaar zeven van die parasieten, die er reeds als larf in beland waren.

Informatie over biotechnologie

Met vragen over biotechnologie en voor materiaal voor een scriptie of een werkstuk over dit onderwerp kunt u terecht bij de **Dienst Wetenschapsvoorlichting, NZ Voorburgwal 120, 1012 SH Amsterdam, tel. (020) 23 23 04.**
U kunt rekenen op een direct antwoord op uw vragen en op een snelle toezending van informatiemateriaal. Vermeldt bij uw vraag s.v.p. deze advertentie.

Dienst Wetenschapsvoorlichting

Wat gebeurt er als je kanker krijgt?

Dan valt de wereld om je heen weg. Dan voel je je alleen. Maar er gebeurt ook nog iets anders: kankerbestrijding komt dichterbij, wordt levende werkelijkheid.

Mensen bij wie kanker wordt ontdekt, kunnen in ons land rekenen op de zorg en aandacht van velen. En in steeds meer gevallen blijkt genezing mogelijk.

Dat komt omdat de strijd tegen kanker al tientallen jaren met taaie volharding wordt gestreden. Nog is die strijd niet gewonnen, maar er is vooruitgang. Daarom is het zo belangrijk dat het werk van het Koningin Wilhelmina Fonds kan doorgaan.

Het Koningin Wilhelmina Fonds zamelt geld in voor wetenschappelijk onderzoek, voorlichting patiëntenbegeleiding en opleiding.

Wil al dat werk voortgang kunnen vinden, dan moet het Koningin Wilhelmina Fonds dit jaar meer geld bijdragen dan ooit tevoren: f 46,7 miljoen om precies te zijn.

Binnenkort gaat de grote collecte weer van start. Wij vragen u: geef iets meer, als het kan. Maar blijf het werk van het Koningin Wilhelmina Fonds steunen.

Geef iets meer a.u.b.

Wilt u meer weten? Vraag dan het gratis informatieboekje aan.
Koningin Wilhelmina Fonds voor de Kankerbestrijding, Sophialaan 8, 1075 BR Amsterdam.
Telefoon: 020-644.044. Giro: 26000. Bankrekening: 70.70.70.007.